Physiologische Untersuchungen über die Keimung der Schminkbohne (Phaseolus multiflorus).

Von **Dr. Julius Sachs.**

(Mit 3 Tafeln.)

(Vorgelegt in der Sitzung vom 3. März 1859.)

---

§. 1. Der ruhende Same.

Die Bohne ist von einer pergamentartigen Haut umhüllt. Diese besteht aus vier Schichten. Die äusserste Schichte besteht aus zwei über einander liegenden Zellenlagen, deren Zellen stabförmig im Radius des Samens dicht neben einander aufgestellt sind. Die nach aussen liegenden Wände dieser Zellen, welche den Umfang der Bohne bilden, sind sehr stark verdickt, die Seitenwände von innen nach aussen dicker werdend, so dass der übrig bleibende Zellraum konisch, mit der Basis nach innen gekehrt ist. Die Zellen der zweiten Lage der äussersten Schichte sind dünner und noch stärker verdickt, so dass nur ein sehr kleiner mehr nach innen zu liegender kugliger Hohlraum übrig bleibt. Diese beiden Zellenlagen geben der Samenhaut die bedeutende Festigkeit und den Glanz. Die zweite Schichte besteht aus kleinen, rundlichen, nicht stark verdickten Zellen, welche gleich denen der äussersten Schicht keine Zwischenräume lassen. Die dritte Schicht besteht gleich der vorigen aus drei bis vier Lagen von Zellen, die aber mehrere Male grösser sind und lufterfüllte Zwischenräume übrig lassen.

Bei den bunten Samen sind diese Zellen mit einem rothen Farbstoff gefüllt, dieser bildet, da er durch die beiden äusseren Schichten hindurchscheint, den röthlichen Grundton, während die schwarzen Flecken von dem in den äussersten stabförmigen Zellen enthaltenen schwarzen Pigment herrühren.

Endlich besteht die innerste Schichte aus unregelmässig zusammengequetschten Zellen, welche Luft führen.

Bei den weissen Bohnen enthält weder die äusserste noch die dritte Schichte Farbstoff. Es scheint, dass diese Albinos, gleich denen der Thiere, eine krankhafte Varietät sind. Ich habe mich bei meinen sehr zahlreichen Aussaaten von *P. multiflorus*, so wie von *P. vulgaris* wiederholt davon überzeugt, dass die weissschaligen Samen unsicher keimen; sie werden sehr leicht faulig, auch wenn sie nicht sehr feucht gehalten und sehr seicht in die Erde gelegt werden. Dagegen ist die Keimung der farbigen Varietät überraschend sicher, unter nicht allzu ungünstigen Verhältnissen keimt jede farbige Bohne, und dies macht diese Varietät zu physiologischen Versuchen ausserordentlich schätzbar, denn nicht alle grossen Samen haben diese für den Physiologen so nützliche Eigenschaft.

Es wäre möglich, dass die Sicherheit der Keimung bei den bunten Bohnen von dem Gerbstoff in den Zellen der dritten Schichte herrührte. Behandelt man nämlich einen dünnen Querschnitt der Samenhaut oder diese in toto mit einem Eisensalz, so färben sich die den rothen Farbstoff führenden Zellen sogleich schwarz; mit Kali wird dagegen der rosige Farbstoff in eine ziegelrothe schmierige Masse verwandelt. Hierdurch ist die Gegenwart des Gerbstoffes in den Farbstoffzellen bewiesen.

Es wäre nicht unmöglich, dass dieser Gerbstoff, gleich anderen leicht oxydirbaren Stoffen, den mit dem Wasser eindringenden Sauerstoff ozonirte und so für die Keimung activer machte. Indessen ist dies eine blosse Vermuthung.

Man könnte erwarten, dass ein so complicirtes Organ, wie die Haut der Bohnen, eine ganz besondere Bedeutung für die Keimung haben müsse, und sie hat auch eine solche; sie ist nämlich ein Hinderniss derselben. Sehr viele Keimwurzeln verkrüppeln, weil sie sich bei der Durchbohrung der Schale beschädigen, zuweilen wachsen sie innerhalb derselben ein Stück hin, bevor sie sich durchbohren können; ich werde später zeigen, welch interessante Einrichtung den Keimstengel befähigt, dieses Hinderniss zu besiegen. Besonders gefährlich wird die Samenschale dem Keim, wenn der Same allzu seicht liegt oder die Erde austrocknet, nachdem das Leben im Keim schon begonnen hat. Dann trocknet auch die Schale aus, sie wird fest und hindert die Keimtheile am Austreten. Soll dies normal stattfinden, so muss der Boden so feucht sein, dass die Haut dehnsam und weich wird und bleibt. Daher keimen etwas tiefer liegende Bohnen, etwa

ein Zoll tief, zwar langsamer aber sicherer. Am sichersten aber keimt die Bohne, wenn man sie ihrer Hülle beraubt und den nackten Keim in die Erde legt. Das Abschälen muss aber geschickt geschehen, weil die Spitze des Würzelchens dabei sehr leicht beschädigt wird und dagegen ist jeder Keim, so weit ich es kenne, sehr empfindlich; es ist merkwürdig, wie sehr man die Keime malträtiren kann, ohne ihr Leben zu gefährden, aber die geringste Verletzung der Wurzelspitze ertragen sie nicht. Ich habe Bohnen nahe am Keime quer durchgeschnitten und sie keimten, wurden gesunde, wenn auch kleinere Pflänzchen; ich habe den Keim beider Kotyledonen beraubt und dieser nackte Embryo begann den Entwickelungslauf und setzte ihn, so weit es seine Stoffmasse zuliess, fort. Es bildete sich eine kleine Wurzel und die Plumula wurde grün; das ganze Pflänzchen war aber kaum 2 Centim. lang und ging endlich ein. Aber nie sah ich einen Keim sich entwickeln, dessen Wurzelspitze verletzt war. Um dies beim Abschälen zu vermeiden, lässt man den Samen etwa 2—3 Stunden im Wasser liegen, dann ist die Haut runzelig und lässt sich leicht abnehmen, der Keim selbst ist noch trocken. Solch nackte Keime keimten sehr sicher und, wie es mir schien, schneller. Dieser Versuch zeigt, dass die Samenhaut für den Keimungsact unnöthig und eher ein Hinderniss ist. Dagegen ist nicht zu leugnen, dass sie durch ihre Festigkeit den Keim schützt, besonders die Wurzelspitze, denn alle Keimtheile sind während ihres Ruhezustandes so ausgetrocknet, dass sie spröde sind.

In der Samenhaut, und fest von ihr umschlossen, liegt der Keim; er besteht aus den beiden verhältnissmässig sehr grossen Kotyledonen und der Keimaxe mit den beiden Primordialblättern. An der Stelle, wo sich die beiden Kotyledonen rechts und links an der Keimaxe ansetzen, ist die Grenze zwischen dem auf- und absteigenden Wachsthum. Der unterhalb der Kotyledonen gelegene Theil der Keimaxe, gewöhnlich Würzelchen genannt, besteht nicht blos aus der Wurzel, sondern aus dem hypokotylen Stengelgliede, welches den grössten Theil dieses ovoidischen Zapfens ausmacht und aus der Wurzelanlage. Äusserlich ist eine Grenze dieser beiden Gebilde durchaus nicht zu erkennen. Dagegen ist sie auf Querschnitten mikroskopisch leicht festzustellen. Der oberhalb des Kotyledonenansatzes gelegene Axentheil besteht aus dem Stengelglied, welches die Primordialblätter trägt, zwischen denen die nackte

Terminalknospe liegt. An der Einsatzstelle der Kotyledonen ist die Axe knieförmig gebogen. Der hypokotyle Zapfen ist an die Unterseite der beiden Kotyledonen angedrückt; äusserlich ist die Stelle, wo die Wurzelspitze desselben liegt, durch ein kleines Grübchen (Mikropyle) neben dem Nabel der Samenhaut bemerkbar, während auf der entgegengesetzten Seite des Nabels zwei kleine Höcker liegen. Diese Lage des hypokotylen Zapfen macht, dass bei der Keimung die Wurzel nicht sogleich senkrecht hinabwächst. Auch das Stengelglied über den Kotyledonen verlängert sich nicht einfach bei der Keimung, ausser der schon im ruhenden Samen vorhandenen Kniebeugung treten an diesem Gliede noch andere Krümmungen auf. Durch diese Eigenthümlichkeit gewinnen die verschiedenen Seiten des Samens eine charakteristische Bedeutung, welche auch an der älteren Pflanze noch wahrzunehmen ist. Um dies kurz zu bezeichnen, nenne ich das Ende des Samens, wo die Keimaxe zwischen den Kotyledonen liegt, „hinten"; daraus folgt dann folgende Orientirung in Bezug auf die einzelnen Theile des Samens: ein rechter und ein linker Kotyledon mit dem Hinterende an die Axe befestigt; die Axe macht nach hinten ein vorspringendes Knie; die beiden Primordialblätter sind mit den Kotyledonen gekreuzt, eines steht hinten, das andere vorne an das Stengelglied. Zur leichteren Orientirung werde ich im Folgenden das die Kotyledonen tragende Stengelgebilde das hypokotyle Glied nennen, und die Zählung der Stengelglieder über den Kotyledonen anfangen, so dass also das die Primordialblätter tragende Glied als erstes Glied bezeichnet wird. Es wird sich im Folgenden zeigen, dass der Unterschied von hinten und vorne, links und rechts auch in den Neubildungen sich geltend macht.

Die Kotyledonen sind gleich gross, haben nach aussen eine gewölbte Fläche und nach innen gerichtet eine etwas concave, so dass zwischen beiden ein schmaler Hohlraum bleibt, in welchem die Primordialblätter Raum für ihre erste Ausdehnung finden. An der Insertionsstelle trägt jeder Kotyledon zuweilen einen Lappen, zuweilen zwei, zuweilen gar keinen. Unter etwa 1500 Bohnen von *Ph. multiflorus*, die durch meine Hände gegangen sind, fand ich zwei, wo statt zwei Kotyledonen deren drei, zwei seitliche und ein unterer vorhanden waren; in dem einen Falle trug das erste Stengelglied dem entsprechend auch drei Primordialblätter in einem Viertel, welcher mit dem Kotyledonenviertel abwechselnd stand.

Bei *Ph. vulgaris* ist das Vorkommen von drei Kotyledonen viel häufiger, man kann auf hundert Samen einen solchen rechnen; hier fällt diese Abnormität auch eher auf, weil die Kotyledonen über die Erde gehoben werden. Bei dieser Art beobachtete ich einige Male zugleich mit drei Kotyledonen auch drei Primordialblätter im Quirl; einmal waren die Kotyledonen in eine Spirale gestellt.

Die Kotyledonen bestehen aus dreierlei Gewebeformen: der Oberhaut, dem Parenchym und den Zellensträngen. Die Oberhaut besteht aus ziemlich dünnhäutigen Zellen, welche auf der gewölbten Aussenfläche beinahe cuboidisch sind, auf der concaven Innenfläche aber in der Richtung der Längsaxe des Samens lang gezogen sind. Die Oberhautzellen enthalten niemals Stärke, weder im ruhenden noch im lebendig gewordenen Samen.

Sie haben jetzt noch keine Spur von Spaltöffnungen; die Kotyledonen von *Ph. multiflorus* zeigen besser als irgend ein anderes Organ, wie die Entstehung dieser interessanten Gebilde ganz von äusseren Bedingungen abhängt. Wo die Kotyledonen von Erde bedeckt oder von der Haut noch zum Theil umhüllt sind, da bleiben sie nicht nur farblos, sondern sie bilden auch keine Spaltöffnungen; an Stellen dagegen, wo sie entblösst sind, wo Licht und Luft freien Zutritt haben, entstehen Spaltöffnungen und in den äusseren Parenchymzellen Chlorophyll.

Das Parenchym der Kotyledonen ist das Nahrungsreservoir für den Keim. Die Zellen sind nach der Richtung des Dickendurchmessers ein wenig länger; im Allgemeinen rundlich polyëdrisch, sie lassen grosse Zwischenräume, welche auch im trockenen Samen mit Luft erfüllt sind. Die Wände sind stark verdickt, da wo zwei benachbarte Wände an einander liegen, zeigen sie grosse Tüpfel, ich habe mich überzeugt, dass sie jetzt und später durch die primäre Lamelle der Zellhaut verschlossen sind. Die Stellen der Zellhaut, welche die Zwischenräume begrenzen, sind verdickt und haben keine Tüpfel. In der Nähe der Epidermis werden die Zellen kleiner; in der unmittelbaren Umgebung der Zellenstränge sind sie ebenfalls kleiner und schliessen fest an einander, indem sie so eine Art Scheide um jeden Strang bilden. Dieses Verhältniss ist zwar bei der Bohne gerade nicht sehr auffallend, aber ich hebe es hervor, weil auch an allen anderen Gefässsträngen das Parenchym ein ähnliches Verhalten zeigt und damit gewisse, später zu besprechende, physiologische Erschei-

nungen zusammenhängen. Der ganze Raum der Parenchymzellen ist dicht angefüllt mit zweierlei optisch und chemisch verschiedenen Stoffen. Als Grundmasse die ganze Zelle erfüllend zeigt sich eine im Wasser, Alkalien und Säuren unlösliche, krümliche, gelblich durchscheinende Materie; Jod färbt sie intensiv braun, mit $CuOSO_3$ durchfeuchtet und in KOHO gekocht, löst sie sich zu einer dunkelvioletrothen Flüssigkeit; die Hauptmasse ist also ein Eiweissstoff, Casein, Legumin. Ich habe ihn in grösserer Menge dargestellt, er bildet im trockenen Zustande und gereinigt eine gelbliche feste Masse und gibt mit $CuOSO_3$ und KO eine violete Flüssigkeit gleich allen anderen Eiweissstoffen.

In diesem vertrockneten Eiweissstoff liegen zahlreiche grosse Stärkekörner von eiförmiger Gestalt und im Innern mit grossen Rissen durchzogen. Je grösser die Zellen, desto grösser sind die Stärkekörner darin. Neben diesen grossen Körnern sind auch kleine zahlreich, zumal in den Zellen nahe der Oberhaut wiegen die kleinen vor.

Die Zellenstränge in den Kotyledonen entspringen aus dem Gewebe der Keimaxe und so wie sie durch die Basis der Kotyledonen hindurchgehen, beginnen sie sich vielfach zu verzweigen. An der Basis nur in einer Schichte liegend, werden sie nach vorne hin in zwei, eine innere und eine äussere Schichte geordnet; die Zweigstränge sind sämmtlich nach vorne gerichtet. Sie bestehen aus sehr kleinen, langen, dünnhäutigen Zellen, welche niemals Stärke enthalten und mit Eiweissstoffen dicht angefüllt sind. Im trockenen Kotyledon enthalten diese Stränge niemals eine Spur von Spiralgefässen; aber später bei der Keimung treten solche in ihnen auf. Dagegen ziehen sich durch die ganze Länge dieser Stränge einzelne Reihen von etwas grösseren Zellen, das sind die Gerbstoffgefässe; im trockenen Samen enthalten sie aber noch keinen Gerbstoff, sondern eine krümliche Materie, welche mit Eisensalzen nicht schwarz wird und mit KO kein rothes Oxydationsproduct gibt. Bei der Keimung füllen sich die Gerbstoffgefässe von der Basis nach vorne hin fortschreitend mit Gerbstoff.

Die Keimaxe besteht aus der Epidermis, der Rinde, dem producirenden Gewebe und dem Mark, ferner dem Urparenchym der Terminalknospe und dem Urparenchym der Wurzelspitze.

Die Epidermis überzieht die ganze Keimaxe unterhalb der Primordialblätter, das ganze hypokotyle Glied und überzieht dann die

junge Rinde der Wurzelspitze, indem sie sich bis unter die Wurzelhaube hinabzieht, so dass die Wurzelhaube von dem Wurzelrindenparenchym durch diese Zellenlage getrennt erscheint. An allen diesen Stellen besteht die Epidermis aus einer einzigen Zellschichte; die Zellen derselben sind in der Richtung des Radius 2 bis 3mal so lang als in der Richtung der Axe und in der Tangente, sie sind stabförmig, vierseitig prismatisch und schliessen mit den Seitenwänden fest zusammen. Alle diese Zellen sind dicht gefüllt mit einem eiweissartigen Stoff, enthalten aber niemals Stärke. Anlagen zu Spaltöffnungen sind noch nicht vorhanden.

Das Parenchym der Rinde und des Markes sind ganz gleich gebaut. Dieses Parenchym besteht aus tafelförmigen Zellen, deren radialer Durchmesser etwa doppelt so gross ist als ihre Höhe parallel der Axe. Je zwei bis fünf und sechs dieser Zellen sind in der Richtung der Axe zu einem grösseren Complex vereinigt, ihre Querwände schliessen dicht zusammen; jeder solcher Complex ist von einem luftführenden Intercellularraum umgeben. Es ist nicht zu verkennen, dass diese Zellencomplexe die letzten Theilungsproducte einer Mutterzelle sind, deren Umrisse eben durch den Verlauf des Intercellularraumes angedeutet sind. Die einzelnen Zellen erscheinen wie Kammern einer längeren septirten Zelle. Bei den ersten Keimungsvorgängen verschwindet diese Anordnung, indem sich die Zellen bedeutend nach der Richtung der Axe verlängern. Oben geht das Rindenparenchym unmittelbar in das der Blattstiele über (Taf. I, L. I), an der Wurzelspitze dagegen bildet dieses Gewebe ein offenes Rohr. Die Anzahl der Zellenschichten wird während der Keimung nicht vermehrt; sie besteht jetzt am hypokotylen Glied aus 15 bis 16, am ersten Stengelgliede aus 7 bis 8 radial angeordneten, peripherische Schichten bildenden Zellenlagen. Die spätere Verdickung dieser Axentheile wird nur durch Dehnung der schon vorhandenen Zellen bewirkt; jedoch findet man während der Keimung auch hin und wieder im Rindenparenchym des ersten Gliedes Zellen in Theilung (Längswände parallel dem Radius) begriffen. Das Markparenchym hört unmittelbar unter der Terminalknospe auf und geht bis an den Vegetationspunkt der Wurzelspitze (Taf. I, I. L. v). Auch hier sind die Zellen und Zellencomplexe in deutliche Längsreihen geordnet. Die Zahl der Markzellen wird während der Keimung ebenfalls nicht vermehrt, sie strecken sich gleich denen der Rinde in dem Masse, als die Axe sich

verdickt und verlängert. Die Dehnung parallel dem Radius beträgt etwa das 6fache, parallel der Axe steigt sie bis auf das 30 bis 100fache; demnach ändern die Zellen ihre Gestalt; im trockenen Keim quer tafelförmig, sind sie in der ausgebildeten Axe dann lang gestreckt.

Mark und Rinde sind mit albuminosen Substanzen gefüllt, ausserdem findet sich aber auch Stärke in sehr kleinen, runden Körnchen. Die Quantität der Stärke in der Keimaxe ist sehr verschieden bei verschiedenen Samen. Bei den meisten findet sich nur in der Gegend, wo die Kotyledonen sich einsetzen, Stärke im Gewebe der Rinde und des Markes; ebenso enthält der oberste Theil des Markes unmittelbar unter der Terminalknospe immer ein wenig Stärke, endlich fehlt sie auch niemals in den Zellen zwischen dem Vegetationspunkt der Wurzel und der Wurzelhaube (siehe Taf. I, Fig. I, L. ein Längsschnitt des trockenen Keimes, die dunkel grundirten Stellen zeigen die Vertheilung der Stärke). In manchen Keimen ist indessen das ganze Mark mit Stärke gefüllt. Ich habe im Keim anderer Pflanzen ähnliche Differenzen beobachtet. In den Maiskeimen z. B. ist gewöhnlich der Kotyledon nur mit Fett gefüllt; an manchen Kolben enthalten aber alle Kotyledonen neben dem Öl auch noch Stärkekörner in denselben Zellen. Ich habe mich überzeugt, dass dies kein krankhafter Zustand ist, denn solche Samen keimen ebenso gesund als die anderen.

Als producirendes Gewebe bezeichne ich das zwischen Mark und Rinde liegende Gewebe der Axe. Bei flüchtiger Untersuchung wäre man geneigt, es einfach als Cambium zu bezeichnen. Der Begriff des Cambiums ist aber für dieses Gewebe zu eng. Mit diesem Namen belegt man ein aus gestreckten Zellen, ohne Intercellularräume bestehendes Gewebe, welches durch fortwährend erneuerte Zelltheilung diejenigen Elemente erzeugt, aus denen dann Bastzellen, Gefässe und Holzzellen hervorgehen.

Das, was ich als producirendes Gewebe der Keimaxe bezeichne, enthält allerdings auch ein Cambium, d. h. eine Schicht von Zellen, welche die Elemente zur Verdickung des Stammes, zu Neubildungen, wenn derselbe sein Längswachsthum bereits beendet hat, liefern werden, aber das producirende Gewebe enthält noch viel mehr als dies. Die folgende Beschreibung wird hoffentlich die Einführung dieses neuen Begriffes in die Wissenschaft rechtfertigen.

Das producirende Gewebe bildet ein zwischen Mark und Rinde liegendes, oben und unten offenes Rohr, dessen Querschnitt in ver-

schiedenen Höhen der Axe sehr verschieden gestaltet ist. Innerhalb des ersten Stengelgliedes bemerkt man auf dem Querschnitte viele nach innen vorspringende Leisten, denen an der äusseren Seite Ausbauchungen entsprechen (siehe Taf. I, Fig. I *a* ein Querschnitt von Fig. I *L* bei *a* genommen). Diese Leisten laufen von den Primordialblättern bis zum Kotyledonen-Ansatz hinab, im hypokotylen Gliede verschwinden sie; weiter unten, und damit ist der Anfang der Wurzel bezeichnet, treten wieder vier im Kreuz gestellte Leisten an dem Rohre auf (vgl. Taf. I, Fig. I α ein Querschnitt durch das hypokotyle Glied bei α in Fig. I *L* und Fig. I β ein Querschnitt durch die Wurzel bei β in Fig. I *L*).

Es wäre unrichtig, diese Leisten als die zukünftigen Gefässbündel zu bezeichnen, vielmehr entstehen nur die ersten Spiralgefässe und getüpfelten Gefässe aus Zellreihen, welche innerhalb dieser Leisten liegen, und zwar nicht aus denen, welche dem Mark zunächst liegen, sondern die in Gefässe übergehenden Zellreihen durchziehen das Innere der Leisten, so dass dann die Gefässe von dünnhäutigem Gewebe, welches frei ist von Zwischenräumen, umgeben und von dem Mark getrennt sind (vergl. Taf. III, Fig. IV *b*, welche das Stück *x* in Taf. I, Fig. I *a* im weiter entwickelten Zustande zeigt, das Gewebe *L* der Leiste enthält jetzt Gefässe *s* und *g g f*, welche nicht an das mit Lufträumen versehene Mark angrenzen). Die späteren, grösseren Gefässe verdanken dagegen dem später in Thätigkeit gesetzten Cambiumcylinder ihre Entstehung (vergl. Taf. III, Fig. IV *b* bei *c* das eben thätig gewordene Cambium).

Das producirende Geweberohr besteht schon im Keim aus sehr verschiedenen Elementen, unter denen auch die Elemente der späteren Cambiumschichte schon zu bemerken sind; und gerade dieser Umstand macht es nöthig, dieses ganze Gewebe nicht als Cambium zu bezeichnen.

Taf. I, Fig. I *l* zeigt einen Längsschnitt bei *l* in Fig. I *L* genommen, worin *E* die junge Epidermis, *R* und *M* das luftführende Gewebe der Rinde und des Markes und *P* das producirende Gewebe vorstellt. Der Schnitt geht radial durch das Rohr zwischen zwei Leisten; der radiale Längsschnitt einer Leiste würde die Schichte *P* doppelt so breit erscheinen lassen. Die kubischen Zellen *st*, zunächst der Rinde, sind der Längsschnitt des späteren Stärkeringes (vergl. Taf. III, Fig. IV *b* bei *st*); darauf folgen nach innen bei *b* die jungen

Bastzellen, durch ihre parenchymatische Anordnung kenntlich; bei *g b* eine Reihe viel grösserer Zellen, es sind die späteren Gerbstoffgefässe (Taf. III, Fig. IV *a* die schwarz ausgefüllten Stellen), welche jetzt noch keinen Gerbstoff führen; *c* bezeichnet die erst später thätig werdende Cambiumschichte, endlich *h* die jungen Holzzellen.

Im hypokotylen Gliede und der Wurzel ist das Rohr dicker. In der Wurzel fehlen die Gerbstoffgefässe. Je näher gegen die Wurzelspitze hin, desto mehr werden die Zellen des producirenden Gewebes kubisch. Alle Elemente des producirenden Gewebes sind sehr dünnhäutig, mit erstarrten Eiweissstoffen gefüllt; sie enthalten niemals eine Spur von Stärke.

In allen Zellen der Epidermis, des Parenchyms und des producirenden Gewebes sind Zellenkerne vorhanden; sie sind sehr klein und haben kein Kernkörperchen.

An der Wurzelspitze geht das producirende Gewebe in das Urparenchym über. Eine Terminalzelle, wie sie Hofmeister beiden Wurzeln der Kryptogamen überall nachgewiesen hat, konnte ich trotz aller Mühe und Sorgfalt weder in der Wurzelspitze des trockenen Keimes noch in späteren Zuständen auffinden. Dagegen habe ich immer eine ganze Schichte sehr kleiner, dünnhäutiger Zellen an der Wurzelspitze gefunden, deren Theilungswände quer gegen die Wurzelaxe stehen, also die Verlängerung der Wurzel herbeiführen.

Im trockenen Keim ist die Wurzelhaube nicht so scharf von dem Gewebe der Wurzelrinde getrennt wie in späteren Zuständen; sie besteht aus grossen, langen, verdickten Zellen. In der Verlängerung der Wurzelaxe bilden die Zellen der Wurzelhaube einen Schwanz, der wohl nichts anderes sein kann, als der noch weiter ausgebildete Vorkeim; er besteht aus sehr grossen stark verdickten Zellen (siehe Taf. I, Fig. I *L* bei *p*).

Die Terminalknospe (Taf. I, Fig. I *L* bei ψ) besteht aus sehr kleinen Zellen; sie schliessen ohne Zwischenräume zusammen und sind ebenfalls mit albuminosen Substanzen dicht gefüllt; drei bis vier Schichten abwärts treten Zwischenräume auf und die Zellen nehmen das Ansehen des Markparenchyms an. Die Oberfläche der Terminalknospe ist mit einem festen Häuschen überzogen. Es scheint, dass hier in der That nur eine Terminalzelle vorhanden ist, jedoch erlaubte mir die Kleinheit der Zellen auch hier kein sicheres Urtheil.

Die Primardialblätter bestehen jetzt aus dem Stiel und der Lamina; die Bewegungsorgane sind noch nicht vorhanden, sie gehören zu den späteren Bildungen des Keimungsprocesses; ein solches Organ entsteht zwischen dem Stiel und der Axe durch eine intercallare Zellbildung, ein zweites zwischen Lamina und Stiel ebenso. Die beiden kleinen Stipulargebilde am oberen Ende des Stiels sind dagegen schon am ruhenden Keim vorhanden, ebenso die Stipulae an der Basis der Stiele.

Blattstiel und Lamina sind bereits von einer Epidermis überzogen. Das Rindenparenchym des Blattstiels ist eine unmittelbare Fortsetzung der Stengelrinde.

Die vordere und hintere grosse Leiste des producirenden Geweberohres des Stengels tritt je in einen Blattstiel und theilt sich dann in neun Stränge. Zwei derselben verlaufen in den Rändern der Rinne (Taf. I, Fig. I *d* Querschnitt des Blattstieles), die sieben anderen stellen sich in die Peripherie eines Rohres und umschliessen so das Mark des Stieles, indem zwischen ihnen die Markstrahlen übrig bleiben. Vor dem Eintritt in die Lamina vereinigen sich die Stränge wieder und treten dann in drei Stränge getheilt in den Medianus und die beiden seitlichen Hauptnerven der Lamina.

Die Blattnerven sind schon im ruhenden Keime der Hauptsache nach vollständig vorhanden. Der Medianus trägt 5—6 opponirte Seitennerven, die sich gegen den Rand hin 1 — 2 Mal theilen; auch die beiden unteren seitlichen Hauptnerven tragen bereits 3 — 4 nach aussen (an den Rand der Herzlappen der Blätter) verlaufende und am Rande mehrfach getheilte Seitennerven. Selbst einige Anastomosen zwischen den Seitennerven sind bereits vorhanden; die grössere Anzahl derselben entsteht aber erst während der Keimung durch mehrfache Theilung gewisser Zellenläufe in der zweiten Zellschichte des Blattparenchyms.

Jeder Blattnerv ist auf der Unterseite von einer Fortsetzung des Stielrindenparenchyms gebildet, in dessen Axe ein Strang producirenden Gewebes verläuft; es enthält hier und im Blattstiel dieselben Elemente, wie in den Leisten des producirenden Rohres in der Axe; der Stärkering (ohne Stärke wie dort), die Gerbstoffgefässe (ohne Gerbstoff) und die Elemente des Cambium und der Gefässe sind in den producirenden Strängen der Blattnerven bereits deutlich zu erkennen. Das Rindenparenchym der Nerven enthält Stärke in kleinen Körnchen.

Die Lamina ist inclusive der Epidermis sechs Zellen dick. Die vier Parenchymschichten bestehen aus kubischen Zellen; die der obersten und untersten Schichte lassen Lufträume zwischen sich, die beiden mittleren Schichten schliessen dagegen noch fest zusammen. In den Zellen der zweiten Schichte von oben sind sehr dünne Querwände vorhanden; während der Keimung wird diese Theilung vollendet und das Parenchym besteht dann aus fünf Lagen (excl. der Epidermis). Jetzt ist der Unterschied zwischen dem Säulengewebe der Oberseite und dem Schwammgewebe der Unterseite noch nicht vorhanden.

Alle Zellen der Lamina sind mit Eiweissstoffen erfüllt, zeigen deutliche Zellkerne, enthalten aber jetzt keine Stärke.

Von den epidermoidalen Gebilden, welche während der Keimung an Axe und Blättern hervortreten, ist jetzt noch nichts vorhanden; diese Gebilde sind, sobald sie entstehen, echte Neubildungen. Die Epidermis trägt nirgends Spaltöffnungen, keine Haare; auch die Zellenleiste, welche auf der Oberseite der grösseren Blattnerven hinläuft, ist noch nicht vorhanden; sie entsteht später durch Vermehrung der Epidermiszellen.

Die eben gemachte Beschreibung des ruhenden Keimes wird, obwohl sie nur so viel enthält, als zum Verständniss des Folgenden durchaus nöthig ist, hinlänglich zeigen, ein wie complicirter Organismus der Keim der Bohne ist.

Bei einer genauen Musterung der äusseren und inneren Verhältnisse macht die Keimaxe und die Blätter den Eindruck, als ob es ein in der besten Entwickelung plötzlich sistirter, erstarrter Lebensact sei, den man hier vor sich hat; die Keimung ist dann nur die Fortsetzung des früher allseitig Begonnenen. Die Kotyledonen dagegen machen den Eindruck fertiger Gebilde; an ihnen ändert die Keimung nichts mehr, als dass sie ihnen die aufgespeicherten Stoffe entzieht; sie leben nur, insofern sie dem Keime dienen und sind nur noch Mittel zum Zwecke. Das ist eine Eigenthümlichkeit der Keime mit dicken Kotyledonen ohne Endosperm; bei den blattartigen Kotyledonen der Endosperm führenden Samen ist das alles anders. Physiologisch verhalten sich die fleischigen stärkeführenden Kotyledonen der endospermfreien Samen, obwohl sie integrirende morphologische Elemente der Keimpflanze sind, doch ganz so, wie das Endosperm des endospermhaltigen Samens.

Zum leichteren Verständniss des Folgenden erlaube ich mir noch folgende Übersicht über die Verhältnisse des ruhenden Keimes beizufügen:

Formen:

fertige:	fertig bis zur Dehnung:
Kotyledonen.	Primordialblätter, Rinden- und Mark-Parenchym der Axe.

Erste Anlage der Formelemente:	Noch gar nicht angelegte:
Producirendes Gewebe,	Spaltöffnungen,
Stärkering,	Haare,
Bast,	Leisten auf den Blattnerven,
Cambium,	die kleineren Anastomosen der Blattnerven,
Holz,	Bewegungsorgane.
Gefässe,	
Gerbstoffgefässe,	
Epidermis.	

Stoffe in den Zellen:

Stärke und Eiweissstoffe:	Eiweissstoffe ohne Stärke:
Parenchym des Kotyledon,	Epidermis der Kotyledonen,
„ der Rinde,	„ „ Axe,
„ des Markes,	„ „ Blätter,
„ der Blattnerven.	das producirende Geweberohr,
	die producirenden Stränge,
	das Cotyledon,
	der Blätter,
	Urparenchym der Wurzelspitze und Stammspitze,
	Blattparenchym.

Lufterfüllte Zwischenräume

sind vorhanden:	sind nicht vorhanden:
im ganzen Parenchym.	in der Epidermis,
	„ dem producirenden Gewebe,
	„ „ Urparenchym.

Stärke kommt nur in Geweben vor, welche luftführende Zwischenräume haben; die geschlossenen Gewebe ohne Luft haben keine Stärke, mit einziger Ausnahme des Gewebes der Wurzelhaube.

§. 2. Äussere Umgestaltung während der Keimung.

Es ist schwer, im Laufe der Keimung eine Erscheinung oder eine Reihe von Erscheinungen als constant zu bezeichnen, um die nöthigen Anhaltspunkte für die Verständigung über das Stadium, welches man bespricht, zu bekommen. Am wenigsten eignet sich die Angabe des Alters eines Keimes, um seinen Entwicklungszustand zu bezeichnen, denn der letztere hängt neben dem Alter[1]) wesentlich von der Temperatur und dem Boden ab. Man müsste also, um den Entwickelungszustand zu bezeichnen, jedesmal die während der genannten Zeit stattgehabte Temperatur und die Feuchtigkeit und Lockerheit des Bodens angeben. Hierzu würde aber eine sehr lange Tabelle von Daten über den Zusammenhang dieser Erscheinungen nöthig sein; hätten wir eine solche vollständige Tabelle, so wäre das der beste Weg, um ein bestimmtes Entwickelungsstadium zu charakterisiren; in Ermangelung einer solchen muss man sich an die äussere Gestalt halten. Diese hängt ab von den äusseren Dimensionen der einzelnen Theile, von der Anzahl und Stellung der Neubildungen und von ihrer Richtung und Beugung.

Wenn nur in jedem Entwickelungszustande ein völlig constantes Verhältniss dieser Bestimmungsmomente Statt hätte, so würde es genügen eines derselben anzugeben; wenn man z. B. sagte „ein Keim, dessen Hauptwurzel 10 Centim. lang ist, so würde sich daraus sogleich der Ausbildungsgrad des Stengels und der Blätter ergeben, wenn eine völlige constante Proportionalität der Theile in ihrer Entwickelung Statt fände. Das ist aber nicht der Fall. Zwar findet in der That für jede Species eine gewisse Proportionalität in der Entwickelung der Wurzel und des Stengels Statt, eine Proportionalität, welche für die betreffende Species einen sehr wesentlichen Charakterzug bildet, allein das Verhältniss der gleichzeitig gebildeten Theile ist viel zu schwankend, um zwei nahe gelegene Entwickelungsstadien damit scharf bezeichnen zu können. In dieser Disproportionalität beurkundet sich eine gewisse Unabhängigkeit der einzelnen Theile, welche allerdings nur in ziemlich engen Grenzen möglich ist.

Wenn man daher genau angeben wollte, welchen Entwickelungszustand eine Keimpflanze hat, von der man eben spricht, so müsste

---

[1]) Ich nenne Alter eines Keimes die Zeit von dem Legen des trockenen Samens in feuchte Erde bis zu dem fraglichen Moment gerechnet.

man eine Angabe über die Ausbildung ihrer einzelnen Theile beifügen. Durch vielfältige Beobachtung aber kommt man dahin, gewisse Normalzustände der einzelnen Theile unterscheiden zu lernen, und es ist dann leicht an einer beliebigen Keimpflanze einen disproportionirten Theil sich in Gedanken durch den normalen zu substituiren. Daraus ergeben sich dann einzelne Normalstadien, die man brauchen kann, um sich über den Keimzustand eines Samens deutlich auszudrücken. Ich werde im Folgenden eine Schilderung des Entwickelungsganges nach derartigen Normalzuständen, gewissermassen nach Mittelwerthen aus verschiedenen Beobachtungen, versuchen und dabei die wesentlichsten Abweichungen erwähnen.

Die erste äusserlich wahrnehmbare Veränderung eines Keimes, wenn der Samen ein bis zwei Tage bei mittlerer Temperatur in der feuchten Erde gelegen hat, ist eine bedeutende Ausdehnung des Wurzelzapfens und des Stengelgliedes mit den Primordialblättern, diese Theile turgesciren, früher gelblich, spröde, faltig sind sie jetzt durchscheinend weisslich, glatt.

Die erste wesentliche Änderung findet nun an der Wurzel Statt: sie verlängert sich bedeutend und durchbricht dabei gewöhnlich die Samenschale sogleich, zuweilen wächst sie innerhalb derselben ein Stück hin. Wenn der Same mit dem Nabel nach abwärts lag, so senkt sich die wachsende Wurzelspitze sogleich abwärts. Die Wurzelspitze ist jetzt schon wie später durch eine schleimige glatte Oberfläche charakterisirt. Während nun die Wurzel 3 bis 4 Centim. hinabwächst, verlängert sich das hypokotyle Glied und verdickt sich dabei sehr bedeutend. Die Bildung der Wurzelhaare beginnt jetzt an der Grenze zwischen hypokotylem Glied und Wurzel, und diese Grenze wird dadurch leicht kenntlich. Die Papillenbildung schreitet in dem Masse abwärts, als die Wurzel sich verlängert, die jüngsten Papillen bleiben aber immer von der Spitze um 1—2 Centim. entfernt. Wenn die Wurzel 8—10 Centim. lang geworden ist, zeigen sich an ihrem obersten Theile grössere Protuberanzen, in senkrechte Reihen gestellt, eine hintere, zwei seitliche und eine vordere Reihe bildend, es sind die jungen Nebenwurzeln I. Ordnung, die noch innerhalb der Rinde liegen. Um diese Zeit hat sich auch das erste Stengelglied auf 1 — 1·5 Centim. verlängert und dabei stärker nach vorwärts gebogen, die Primordialblätter sind über 1 Centim. lang geworden; alle Theile oberhalb des Kotyledon sind rauh; es beginnt

überall gleichzeitig die Haarbildung. Dieses Stadium ist leicht kenntlich und physiologisch dadurch charakterisirt, dass die Verlängerung der Hauptwurzel nun der Hauptsache nach vollendet ist und die seitlichen Neubildungen begonnen haben (Fig. II auf Taf. I). Bei sehr hohen Temperaturen verlängert sich die Wurzel nicht so stark, schon wenn sie 5 Centim. lang ist, treten die Nebenwurzeln hervor, und hat der obere Keimtheil das Ansehen des Stadium II.

Die nächste auffallende Änderung findet nun an den Nebenwurzeln I. Ordnung Statt. Sie sind bereits im vorigen Stadium in grosser Anzahl angelegt worden und verlängern sich nun in kurzer Zeit (etwa in zwei Tagen) auf 6 — 8 Centim. bei mittlerer Temperatur (14 — 16° R.); dabei sind wieder die obersten die zuerst hervortretenden, die Bildung der Wurzeln geht von oben nach unten, und die jüngsten Nebenwurzeln bleiben immer um einige Centimeter von der Spitze der Hauptwurzel entfernt. Zugleich mit dieser Streckung der Nebenwurzeln beginnt eine bedeutende Streckung am untersten Theil des ersten Stengelgliedes, dabei erscheint so wie bei der Wurzelbildung die Hinterseite als die kräftigere; sie streckt sich stärker und dadurch wird der Stengel nach vorne gebeugt; während sich der untere Stengeltheil immer mehr verlängert und verdickt, wird auch diese Beugung immer stärker und endlich so, dass das erste Stengelglied nun aus einem aufrechtstehenden unteren Theil und einem abwärts gekehrten oberen, welcher die hängende Plumula trägt, besteht. Dieses Stadium ist besonders durch diese Beugung auffallend charakterisirt und durch den Umstand, dass in diesem Zustande des Keimstengels die Samenschale durchbrochen wird; der nach oben gewölbte Stengel hebt sie mit bedeutender Kraft von den Kotyledonen ab, oder zerreisst sie. Wenn der Stengel so, wie er im ruhenden Samen liegt, sich einfach verlängerte, so würden die jungen, sehr zarten Primordialblätter mit den Spitzen an die Samenhaut stossen und dabei zerdrückt werden. Es gibt nicht leicht eine so interessante Reihe von Erscheinungen, als die Art und Weise wie bei verschiedenen Samen der Keimstengel sich aus den Samenhüllen los macht und herauszieht.

Die Kraft, welche zum Durchbrechen der Samenhaut nöthig ist, entwickelt sich in dem unteren Theil des Stengelgliedes, es ist dieselbe Kraft, welche die Dehnung desselben herbeiführt. Sobald die Haut durchbrochen ist, verlängert sich dieser Theil noch bedeutend

in mehreren Stunden und hebt die bedeckende Erde empor. Erst dann, wenn die Primordialblätter in solcher Weise in freie Luft gesetzt sind, nehmen sie ihre bleibende Stellung ein. Um die Zeit, wo die Verlängerung der Nebenwurzeln und des unteren Theiles des ersten Stengelgliedes beginnt, bilden sich die Bewegungsorgane der Blätter, die Anastomosen der Nerven, und im Parenchym der Blätter tritt die letzte Zellbildung ein. Ich bezeichne diesen Zustand als das dritte Stadium (Taf. I, Fig. III).

Sobald die Primordialblätter an das Licht getreten sind, werden sie in kurzer Zeit grün, was aber ganz und gar von der Beleuchtung abhängt. Bisher mit den Seiten der Laminae zusammengeschlagen, beginnen sie nun sich auszubreiten; was nothwendig mit einer Ausdehnung des Gewebes auf der Oberseite des Medianus zusammenhängt. Zugleich dehnt sich die Rinnenseite (Oberseite) der Stiele ein wenig und dadurch treten die Blätter, die bisher mit ihren Rändern in einander griffen, nun aus einander. Unterdessen streckt sich der Stengel ganz gerade, die Oberseite der nun geöffneten Blätter wird dem Lichte zugekehrt, zwischen ihnen bemerkt man nun schon das auf 2—3 Millim. verlängerte zweite Stengelglied mit einer dicken Knospe; dieser Theil ist völlig neu gebildet, denn im Samen war die Terminalknospe nur ein kleiner nackter Kegel. Die Streckung des ersten Gliedes fand zuerst unten Statt, dann streckt sich der nächst obere Theil, endlich der oberste, wie man sich durch schwarze Zeichen, welche man in gemessenem Abstande mit Farbe aufträgt, leicht wahrnehmen kann. Mit der Längsdehnung hängt auch immer die Verdickung des betreffenden Theiles zusammen. Im Stadium III war der unterste Stengeltheil der dickste, jetzt ist es der oberste. Vor der Ausdehnung ist jeder Stengeltheil gelblich und undurchsichtig, nach der Dehnung ist er durchscheinend und grünlich. Ich habe mich vielfach davon überzeugt, dass jedesmal diejenige Stelle des ersten Stengelgliedes, welches in Streckung begriffen ist, von den Lichtstrahlen am stärksten gebeugt wird. Sobald die Streckung aufgehört hat, ist dieser Theil für das Licht unempfindlich, und der nächst obere kommt an die Reihe sich zu biegen. Während dieser Periode finden an der Wurzel keine so bedeutenden Änderungen mehr Statt. Die Nebenwurzeln wachsen auf das Doppelte und Dreifache ihrer frühern Länge, die untersten strecken sich der Reihe nach, das Wachsthum der Hauptwurzel ist so gut

wie beendet. Hiedurch ist das vierte Stadium charakterisirt (Taf. I. Fig. IV).

Es dürfte überraschen, dass ich noch den in Figur V angedeuteten Zustand als Keimungsstadium bezeichne. Er gehört in der That noch zur Keimung, denn bis zu diesem Stadium hin sind die Kotyledonen frisch; erst dann faulen sie ab, erst jetzt erhalten die Primordialblätter ihre letzte Dehnung, erst jetzt ist die ganze Reservenahrung der Kotyledonen in die Keimpflanze übergegangen und darin völlig verarbeitet, wie ich später zeigen werde. Während sich die ersten neugebildeten Blätter entfalten, brechen die Nebenwurzeln II. Ordnung hervor.

Die Keimung der Bohne bietet äusserlich folgendes Bild dar: zuerst vorwiegend Wurzelbildung; dann vorwiegend Streckung und Ausbildung der schon vorhandenen Stengeltheile des Keimes, endlich der Übergang zur selbstständigen Vegetation durch Vollendung des Wurzelsystems und völligen Verbrauch der Reservenahrung.

Ich habe die fünf Normalstadien so abgebildet, dass die schon im Keim angelegten Gebilde einfach in grauen Umrisseu gegeben sind, während Alles was seit dem Beginn der Keimung neu gebildet wurde, schwarz ausgefüllt ist, um recht auffallend die gleichzeitigen Neubildungen hervorzuheben; man bemerkt, dass dieselben an allen Theilen des Keimes stattfinden; aber vorwiegend am unterirdischen. Das ganze Wurzelsystem ist eine Neubildung.

Morphologisch findet sich keine scharfe Grenze zwischen der Keimung und der selbstständigen Vegetation der Bohne, aber physiologisch ist diese Grenze scharf gezogen. Das Ende der Keimung ist durch den Moment bezeichnet, wo die Kotyledonen völlig entleert sind; so lange diese noch Nahrung enthalten und an den Keim abgeben können, ist diese noch, so zu sagen, im Zustande des Säuglings, er nährt sich von den Assimilationsproducten der Mutter. Bei der Schminkbohne bleiben die entleerten Kotyledonen so lange am Stengel, bis sie verfaulen bei der gemeinen Bohne, wo sie über die Erde empor gehoben werden, fallen sie nach der Entleerung sogleich ab.

§. 3. Experimente über die äusseren Bedingungen der Keimung.

a) Temperatur.

Jeder Same hat zwei Nullpunkte der Temperatur für seine Keimung, d. h. es gibt für jeden Samen eine niedrigste und eine höchste

Keimungstemperatur; unterhalb der niedrigsten, sowie oberhalb der höchsten verdirbt der Same im feuchten Boden ohne zu keimen.

Es gehören viele Experimente dazu, um einen dieser Nullpunkte genau zu bestimmen; ich habe beide für die Schminkbohne annähernd zu bestimmen gesucht.

In den folgenden Versuchen wurden die trockenen Samen in lockere, feucht gehaltene Erde mit dem Nabel nach unten, einen Centimeter hoch bedeckt, eingelegt.

1. Bei 5·9° R. im Mittel (das Thermometer, dessen Kugel in gleicher Tiefe mit dem Samen steckte, zeigte unter 40 Beobachtungen nur einmal 7° und einmal 3° R., sonst zwischen 5 und 6·5° R.) waren die Samen in 19 Tagen verfault.

2. Bei 5·4° R. Mittel (Maximum = 6°, Minimum = 2·3°) waren die Samen binnen 34 Tagen verschimmelt.

3. Bei 5·5° R. Mittel (Max. = 6°, Min. = 5°) waren die Samen in 18 Tagen nur aufgequollen.

4. Bei 4·82° R. Mittel (Maxim. = 7°, Min. = 2·3° R.) waren die Samen in 16 Tagen aufgequollen.

Diese Versuche beweisen, dass die Bohne unter 6° R. nicht keimt.

5. Bei 6·91° R. Mittel (Max. = 8°, Min. = 5) hatte sich binnen 8 Tagen das Würzelchen nicht geregt.

6. Bei 7·5° R. Mittel (Max. = 8°, Min = 6·2°) war binnen 6 Tagen die Wurzel herausgetreten, binnen 12 Tagen 4 Centim. lang geworden und die ersten Nebenwurzeln unter der Rinde angelegt, bei vier Samen gleichförmig, keine verdarb.

7. Bei 8·2° R. Mittel (Max. = 11·8°, Min. 5·8° R.) war binnen 8 Tagen das Würzelchen aus der Samenschale hervorgetreten.

Demnach liegt das Minimum der Keimungstemperatur der Bohne gewiss unterhalb 8° R., aber wahrscheinlich oberhalb 7° R. Hält aber eine solche Temperatur länger an, dann verdirbt der schon hervorgetretene Keim, er wird abnorm, indem die Hauptwurzel sich nicht weiter verlängert und Nebenwurzeln ausbrechen zu einer Zeit, wo die Plumula noch lange nicht die normale Grösse für dieses Studium hat. Daher nehme ich als die niedrigste Temperatur, wo noch eine gesunde Keimung möglich ist, 8° R. an.

Um das Maximum der Keimungstemperatur oder den oberen Nullpunkt zu finden, wendete ich einen Apparat an, der durch

Heizung beliebig temperirt und ziemlich gut regulirt werden kann. Die Samen liegen in feuchter Erde und haben freien Luftzutritt.

8. Bei 34·3° R. Mittel (Max. = 37° R. während vier Stunden) fand noch Keimung binnen 48 Stunden Statt, die Wurzel abnorm.

Dieser Versuch zeigt, dass der obere Nullpunkt gewiss über 34° R. liegt, und dass eine Temperatur von 37° R. binnen 4 Stunden den Keim nicht tödtet, denn diese Temperatur fand um die Mitte der Versuchszeit Statt.

Demnach liegt also die Möglichkeit zum Keimen für die Schminkbohne innerhalb der Grenzen 7° R. und 35° R.; aber eine normale Keimung findet an diesen Grenzen nicht Statt.

Ich legte mir nun die Frage vor, wie der Entwickelungsgang bei verschiedenen Temperaturen vor sich geht und welches die beste Temperatur ist, um eine normale und rasche Keimung hervorzurufen. Ich theile hier meine zahlreichen Versuche mit, ohne die Sache für abgeschlossen zu halten. Auch hier ist die Zeit immer von dem Moment des Legens trockener Samen in feuchte Erde gerechnet.

9. 48 Stunden bei 34° R. Mittel (zwischen 37 — 31° R.).
Länge der Wurzel (vom Ansatz der Kotyledonen an gemessen) 5^{mm}, 5·5^{mm}, 8^{mm}, 8^{m}, 10^{m}, Mittel = 7·3^{m}.
Länge der Plumula 7^{m}, 8^{m}, 7^{m}, 7^{m}, 8·5^{m}, Mittel = 7·5^{m}.

10. 48 Stunden bei 30·6° R. (zwischen 34°, 5 und 26° R.).
Länge der Wurzel 21^{m}, 19^{m}, 25^{m}, 23^{m}, Mittel = 22^{m}.
„ „ Plumula 12^{m}, 9^{m}, 9^{m}, 11^{m}, Mittel = 10·25^{m}.

11. 48 Stunden bei 27·70° R. Mittel (zwischen 26·8 und 29·5°).
Länge der Wurzel 28^{m}.
„ „ Plumula nicht bestimmt.

12. 48 Stunden bei 26·6° R. (zwischen 22 — 31·5°).
Länge der Wurzel 25^{m}, 35^{m}, Mittel = 30^{m}.
„ „ Plumula 10^{m}, 11^{m}, Mittel = 11·5^{m}.

13. 48 Stunden bei 26·6° R. (zwischen 22 — 29°).
Länge der Wurzel 18^{m}, 24^{m}, 33^{m}, 45^{m}, Mittel = 30^{m}.
„ „ Plumula 9^{m}, 10^{m}, 10^{m}, 13^{m}, Mittel = 10·5^{m}.

14. 48 Stunden bei 22·8° (zwischen 21·5 — 23·8°).
Länge der Wurzel 23^{m}, 33^{m}, 30^{m}, 51^{m}, Mittel = 34·2^{m}.
„ „ Plumula 10^{m}, 10^{m}, 12^{m}, 13^{m}, Mittel = 11·2^{m},

15. 48 Stunden bei 21·04° R. (zwischen 21 — 23°).
Länge der Wurzel 60^{m}, 37^{m}, 46^{m}, Mittel = 47·7^{m}.
„ „ Plumula 13^{m}, 10^{m}, 10^{m}, Mittel = 11^{m}.

16. 48 Stunden bei 20·6° R. (zwischen 17—23°).
Länge der Wurzel = 37^{m}, 30^{m}, 40^{m}, 40^{m}, Mittel = 39^{m}.
„ „ Plumula 11^{m}, 8^{m}, 11^{m}, 10^{m}, Mittel = 10^{m}.

Diese acht Versuche zeigen deutlich, dass die Geschwindigkeit der Keimung ein Maximum hat, welches nicht mit dem Maximum der Temperatur zusammenfällt, d. h. es gibt eine beste Keimungstemperatur und diese liegt etwa bei 21° R. Denn in 48 Stunden erreicht die Wurzel

bei 34°	R.	eine	Länge	von	7^{m},
„ 30·7°	„	„	„	„	22^{m},
„ 27·6°	„	„	„	„	28^{m},
„ 26·6°	„	„	„	„	30^{m},
„ 22·8°	„	„	„	„	34^{m},
„ 21·0°	„	„	„	„	47^{m},
„ 20·6°	„	„	„	„	39^{m}.

Würde man also die binnen 48 Stunden erreichten Wurzellängen als Ordinaten einer Curve betrachten, deren Abscissenlinie die Temperaturen sind, so würde der höchste Punkt der Curve über 21° R. liegen; und von hier aus würde die Curve einerseits bis zu 34° R., andererseits bis zu einer gewissen niederen Temperatur (nahe 8° R.) sich auf die Abscissenlinie hinabsenken.

Demnach liegt die beste Keimungstemperatur bei 21° R. für die Schminkbohne, also beinahe in der Mitte zwischen der höchsten und der niedrigsten Keimungstemperatur.

In diesen Versuchen wurde das Keimungsstadium als eine Function der Temperatur behandelt; es soll nun umgekehrt bei gleichen Temperaturen das Keimungsstadium als Function der Zeit auftreten.

17. Bei 27° R. binnen 27 Stunden Wurzellänge = 6^{m}.
„ 27·7° „ „ 48 „ „ = 28^{m}.
„ 27·5° „ „ 61 „ „ = 52^{m}.

Also bei 27° im Laufe des ersten Tages 4^{m}, im Laufe des zweiten 22^{m} und im Laufe des dritten 24^{m} Längenzuwachs.

18. Bei 32° R. binnen 23 Stunden Wurzellänge = 5^{m}.
„ 31° „ „ 48 „ „ = 30^{m}.

19. Bei 11° R. binnen 2 mal 48 Stund. Wurzellänge = 6m.
„ 11·6° „ „ 3 „ 48 „ „ = 11·5m.
„ 11·6° „ „ 4 „ 48 „ „ = 17m.
„ 11·7° „ „ 5 „ 48 „ „ = 54m.
„ 11·7° „ „ 6 „ 48 „ „ = 100m.

Für die ersten 2 Tage ist also der Zuwachs (6 — 2m) = 4m.
„ „ zweiten 2 „ (11·5 — 6 =) 5·5m.
„ „ dritten 2 „ (17 — 11·5 =) 5·5m.
„ „ vierten 2 „ (54 — 17 =) 37m.
„ „ fünften 2 „ (100 — 54 =) 46m.

Wenn man also die Zeit zur Abscissenlinie macht und die Wurzellängen als Ordinaten darauf betrachtet, so zeigt sich, dass für gleiche Abscissen die Zuwachse sehr verschieden sind; ist 2 Tage $= x$, so ist für x_1 das $\Delta y = 4^m$,
„ x_2 „ $\Delta y = 5{\cdot}5^m$,
„ x_3 „ $\Delta y = 5{\cdot}5^m$,
„ x_4 „ $\Delta y = 37^m$,
„ x_5 „ $\Delta y = 46^m$.

Die täglichen Längenzuwachse (Δy) werden demnach immerfort grösser, d. h. mit andern Worten es findet eine Erstarkung Statt, an jedem folgenden Tage gewinnt die organische Thätigkeit an Kraft.

Da es bei physiologischen Experimenten, zu denen die Schminkbohne in so hohem Grade geeignet ist, oft wünschenswerth wird, im Voraus zu wissen, wie weit eine Pflanze binnen einer bestimmten Zeit bei einer gegebenen Temperatur entwickelt sein wird, so füge ich noch folgende Angaben bei:

Das auf Taf. I dargestellte Stadium II wird
bei 15° Bodentemperatur in etwa vier Tagen;
„ 11° „ „ „ zwölf Tagen erreicht.

Das Stadium III wird
bei 15° Bodentemperatur in etwa sechs Tagen;
„ 11° „ „ „ vierzehn Tagen erreicht.

Das Stadium IV wird
bei 15° Bodentemperatur in etwa zehn Tagen;
„ 11° „ „ „ fünfundzwanzig Tagen erreicht.

Das Stadium V wird
bei 15° R. binnen zwölf bis vierzehn Tagen;
„ 11° R. binnen vierzig Tagen erreicht.

Bei 8° ist das Wachsthum so langsam, dass man selbst in einer Woche an den oberirdischen Theilen keine auffallende Änderung merkt.

Interessant sind die Störungen in den Normalproportionen durch excessive Temperaturgrade. Eine acht Tage alte Bohne hatte bei 29° R. Bodentemperatur eine Wurzel von 2 Cent. Länge und ein erstes Stengelglied von 8 Cent. Länge über dem Boden entwickelt, die Primordialblätter noch zusammen gefaltet; dagegen hatte eine 12 Tage alte Bohne bei 11° R. eine 7 Cent. lange Wurzel mit einigen oben ausbrechenden Nebenwurzeln und eine kaum 2 Cent. lange Plumula, die noch zwischen den Kotyledonen lag. Jene hatte also bei fast völlig unterdrückter Wurzel die Plumula bedeutend ausgebildet, diese umgekehrt bei stark entwickelter Wurzel die Plumula wenig entwickelt.

Zum Schlusse möchte ich diesen Temperaturangaben nur noch die Bemerkung beifügen, dass sie sämmtlich ganz speciell nur für die Schminkbohne gelten und einer etwaigen Verallgemeinerung nicht fähig sind; mit den Bohnen zugleich wurden immer mehrere andere Arten untersucht, und es zeigte sich, dass sie mit den Temperaturen nach ganz anderen Relationen verknüpft sind.

Wenn das Boussingault'sche Gesetz: „Das Product aus der mittleren Temperatur in die Vegetationszeit ist für eine Species eine constante Grösse“, richtig wäre, so müsste es offenbar auch für einzelne Vegetationsperioden richtig sein, d. h. es würde daraus der Satz folgen: ein bestimmtes Entwickelungsstadium wird immer durch eine und dieselbe Zahl repräsentirt, wenn man die Zeit mit der Temperatur bei und binnen welcher dieses Stadium erreicht wurde, multiplicirt. Das ist aber nicht nur nicht bei der Bohne, sondern auch bei keiner andern von mir untersuchten Species der Fall.

Eine Bohne hatte bei 11·7° R. binnen 12 Tagen das Normalstadium II (Taf. I) erreicht, eine andere binnen 2 Tagen bei 26·6° hatte sich eben so weit entwickelt; bei jener war das Product aus der Zeit in die Temperatur = 140, bei dieser 73.

Eine Reihe Bohnen bildete binnen 2 Tagen bei 22·8° R. eine Wurzel von 34·2^{m} Länge, eine andere binnen 10 Tagen bei 11·7° bildete sich bis zu demselben Stadium aus; das Product aus 10.11·7 = 117, das aus 2.22·8 = 45·6.

So ungenau auch immer derartige Versuche ihrer Natur nach sind, so liegen dennoch so bedeutende Abweichungen von dem prätendirten Gesetz bei weitem ausserhalb der Beobachtungsfehler.

Wenn der Vegetationsprocess, wie es das Boussingault'sche Gesetz will, dem Product aus Zeit und Temperatur proportional wäre, so müsste ein Stadium, welches bei 22° binnen 2 Tagen erreicht wurde, dann bei 11° binnen 4 Tagen erreicht werden (weil $2 \cdot 22^{0} = 4 \cdot 11^{0}$), es wird aber bei 11° erst in 10 Tagen erreicht. Ich habe überhaupt bei meinen vielfachen Untersuchungen über diesen Gegenstand immer gefunden, dass, wenn man gleiche Entwickelungsstadien, welche bei verschiedenen Temperaturen gebildet wurden, bezüglich ihres Alters vergleicht, jedesmal für ein bestimmtes Sinken der Temperatur die Zeit in einem viel grösseren Verhältniss steigt, als es dem Boussingault'schen Gesetz nach sein müsste; z. B. Wenn die Temperatur auf die Hälfte sinkt, so müsste die Zeit auf das Doppelte steigen, aber sie steigt auf das Vier-, Fünf- bis Mehrfache.

In der That ist auch gar nicht zu erwarten, dass ein so complicirter Vorgang wie die Entwickelung einer Pflanze in einer so einfachen Relation zur Temperatur stehen sollte. Eine genauere Betrachtung des Vegetationsprocesses führt vielmehr zu dem Schluss, dass die Temperaturen in Bezug auf die Entwickelung der Pflanze nicht nur als verschiedene Grade wirken, sondern wie qualitativ verschiedene Kräfte. Ich hoffe demnächst alle diese Sätze durch vergleichende Untersuchungen an vielen Gattungen allgemein beweisen zu können.

b) Licht.

Wenn man Bohnen in völliger Dunkelheit keimen und weiter wachsen lässt, so zeigen sie gewisse Eigenthümlichkeiten, die zum Theil den Einfluss des Lichtes auf die Vegetation allgemein beweisen, zum Theil aber die Bohne speciell charakterisiren.

Die Unterschiede der im Dunkeln und im Hellen keimenden Pflanzen können natürlich erst von dem Moment an hervortreten, wo der Stengel die Erdoberfläche durchbricht.

Ich habe Bohnen in völliger Finsterniss bis zu dem Stadium V (Taf. I) sich entfalten sehen, jedoch mit Abweichungen von dem normalen Gange der Entwickelung, die sich bereits zwischen den Stadien III und IV geltend machen.

Die Pflanzen nehmen nicht den geringsten Schein von grüner Färbung an, erscheinen vielmehr intensiv gelb an den Stellen, wo

noch Neubildung stattfindet; die sich streckenden Stengel dagegen erscheinen farblos, sind jedoch nicht so durchscheinend wie die im Licht gestreckten.

Während die mittlere Länge des ersten vollständig gestreckten Stengelgliedes im Lichte etwa 10 Centim. erreicht, erhebt es sich im Dunkeln bis 15 und 20 Centim. Diese bedeutende Streckung kommt hauptsächlich auf Rechnung des unteren Theiles; der Obertheil dieses Gliedes behält lange Zeit sein embryonales Aussehen und die nickende Stellung; merkwürdig ist der Umstand, dass gegenüber der vermehrten Ausdehnung des Stengelgliedes die Primordialblätter nicht einmal das Mass der gewöhnlichen normalen Dehnung erreichen; sie bleiben klein und zusammengefaltet, die Streckung der Blattstiele findet in viel geringerem Masse Statt als im Lichte. Zu einer Zeit, wo schon das zweite Stengelglied sich auf 5—6 Centim. gestreckt hat (wie im Stadium V), bleiben die Primordialblätter noch zusammengefaltet. Dieses Unterbleiben von Entfaltung und Streckung ist eine Eigenthümlichkeit, welche nicht allen im Dunkeln erzogenen Arten gemeinsam ist; bei dem Mais z. B. entfalten sich die Blätter wie im Licht und nur die gelbe Farbe unterscheidet sie von normalen Keimpflanzen.

Wenn man so ohne Licht erzogene Keime, die etwa das Stadium IV erreicht haben, dann dem Lichteinfluss aussetzt, so werden sie je nach der Intensität des Lichtes in einem oder in 2—3 Tagen grün; und zwar erfolgt das Grünwerden zuerst in der Nähe der grossen Nerven; Pflanzen, welche sich bis zum Stadium V im Finstern entwickelten, zeigen sehr deutlich, dass in ihnen bereits eine durch die verlängerte Nacht herbeigeführte Zersetzung begonnen. In den Primordialblättern zeigen sich einzelne Stellen des Parenchyms abgestorben, es entstehen Löcher in der Blattsubstanz; in diesem Zustande dem Lichte ausgesetzt, werden zuerst die jungen noch unentfalteten Blätter des zweiten und dritten Gliedes grün; erst später beginnt an einigen Stellen der Primordialblätter derselbe Process, jedoch bleiben einzelne Stellen besonders am Rande gelb und erweisen sich als absterbend; es dauert auch bei hellem Lichte mehrere Tage, bis diese durch zu langen Lichtmangel erkrankten Blätter grün werden; dabei richten sich auch die Stiele auf und die Blätter bekommen ihre normale Stellung.

Es gibt nicht leicht eine Gelegenheit, welche den gewaltigen Einfluss des Lichtes auf die Vegetation so schlagend zeigte, als wenn

man eine bis zum Stadium V im Finstern und eine solche im Lichte herangewachsene Bohnenpflanze vergleicht.

Die Thatsache, dass die jüngeren Theile einer vergeilten Pflanze zuerst grün werden, wenn sie an das Licht kommt, ist der Bohne nicht eigenthümlich, sondern allgemein; besonders deutlich tritt dies bei den Blättern vergeilter Maiskeime hervor; wenn dieselben in diesem Zustande ein gewisses Alter erreicht haben, ist der älteste Theil, die Spitze, bereits unfähig grün zu werden, während die jüngeren Theile desselben Blattes gegen die Basis hin, gleich den später entstandenen noch gerollten Blättern schnell grün werden.

Man kann diese Thatsache in folgender Weise theoretisch ausdrücken: Der Lichtmangel hindert die Anlage und erste Ausbildung der Organe nicht, und während einer gewissen Zeit behalten die im Finstern gebildeten Theile die Fähigkeit grün zu werden; bei länger fortgesetzter Dunkelheit aber tritt zuerst die Unfähigkeit noch grün zu werden und endlich sogar eine Zerstörung der Gewebe ein. Diese Zerstörung macht sich zuerst nur im Blattparenchym geltend, endlich ergreift sie aber auch den Stengel, und die ganze Pflanze bietet einen eigenthümlichen Krankheitszustand, der in einer Art Fäulniss besteht, dar; zuletzt erfolgt völliger Tod aller Theile.

Ich habe noch keine Bohne im Dunkeln sich weiter entwickeln sehen als bis zum Stadium V, d. h. bis zu dem Zustande, wo die Kotyledonen den Keim noch mit Nahrung versorgen. Dies zeigt deutlich, dass die ganze oberirdische Neubildung dieses Stadiums noch zum Keimungsprocess gehört, d. h. noch auf Kosten der in den Kotyledonen enthaltenen Assimilationsproducte der Mutterpflanze stattfindet.

Das Wurzelsystem vergeilter Keime schien mir immer sehr verkümmert; zumal scheinen solche Wurzeln sehr arm an festen Stoffen, denn sie trocknen beinahe auf nichts zusammen. Wenn sich dies bei weiteren Untersuchungen mit der Waage bestätigt, so wäre dies ein neuer und sehr directer Beweis für die Ansicht, dass die Wurzeln von den in den oberirdischen Theilen unter dem Einflusse des Lichtes gebildeten Stoffen sich nähren.

c) Feuchtigkeit.

Wenn der Same einmal mit Wasser bis zur Turgescenz aller Theile angesogen ist, dann hat für die ersten Keimungsstadien die

Feuchtigkeit des Bodens keinen wesentlichen Einfluss mehr, sie wirkt nur insofern sie das Entweichen des schon aufgenommenen Wassers verhindert. Dass in der That das zuerst bis zur Turgescenz aufgenommene Wasser hinreicht, die Wurzel zur Entwickelung und, was mehr sagen will, zur Streckung zu bringen, geht aus folgenden Versuchen hervor. Ich nahm Bohnen, deren Keimwurzel eben die Schale durchbrach und hing sie an einem Faden in ein Gefäss, auf dessen Boden ein wenig Wasser war, und das dann mit einem Deckel luftdicht verschlossen wurde.

So im dampfgesättigten Raume schwebend entwickelte sich die Wurzel nicht nur, sondern auch die ersten Nebenwurzeln bis zu mehreren Centim. Länge; andere Samen, welche eben ihre Wurzel 1 — 2 Centim. herausgestreckt hatten, wurden mit den Kotyledonen in einen Halter eingeklemmt, der auf einem mit Wasser bedeckten Teller stand und das Ganze mit einer grossen Glasglocke bedeckt. So entwickelten sich die Keime im dampfgesättigten Raume bis zu einem zwischen III und IV (Taf. I) liegenden Stadium, dann fingen sie an zu faulen. Es ist unmöglich zu bestimmen, ob hierbei Aufnahme von Wasserdampf durch die Wurzeln stattfand, denn während dieses Entwickelungszustandes findet bei der Keimung ein bedeutender Gewichtsverlust durch Verbrennung Statt. Ich habe ähnliche Experimente mit anderen Samen mit gleichem Erfolge gemacht.

Sehr bemerkenswerth ist der Einfluss feuchter Luft auf die normale Ausbildung der oberirdischen Theile. Trockene Luft macht, dass die Blätter klein bleiben, aber sie hindert die Bildung der Blätter nicht. Wahrscheinlich ist der Wasserverlust aus der Blattfläche so bedeutend, dass keine genügende Turgescenz eintreten kann, um die Dehnung der Zellen zu vermitteln; es ist auch denkbar, dass bei der raschen Abgabe des Wassers durch die Oberflächen und folglich bei eben so rascher Zuführung desselben innerhalb der Zellen die chemischen Vorgänge nicht ruhig thätig sein können, dass somit die Ausbildung der Blattsubstanz gehindert wird. Die trockene und durch Heizung immerfort in Bewegung begriffene Luft eines im Winter geheizten Zimmers genügt, um die Fläche der ersten Blätter auf 2—3 Quadrat-Centim. zu reduciren, während sie bei derselben Temperatur unter einer Glasglocke in feuchter Luft 30—40 Quadrat-Centim. Fläche bieten, wenn die Pflanzen das Stadium V erreicht haben. Die retardirende Wirkung in der Entwickelung der Blattfläche macht

sich sogleich nach dem Heraustreten der Keimblätter an die Luft bemerklich, und bei feuchtem warmen Boden und warmer aber trockener Luft kann es durch den Mangel an Wasserdampf in derselben so weit kommen, dass die Primordialblätter völlig vertrocknen.

Diese Empfindlichkeit gegen trockene Luft oder, genauer ausgedrückt, diese Fähigkeit so rasch zu verdampfen ohne dem entsprechende Wasserzufuhr von unten, ist eine Eigenthümlichkeit der Bohne; andere Keimpflanzen. in denselben Töpfen, unter gleichen Bedingungen, bleiben dabei gesund.

§. 4. Experimente über den physiologischen Zusammenhang der verschiedenen Keimtheile.

a) Über die Function der Kotyledonen.

Ich erwähnte schon Eingangs, dass eine Art Keimung stattfindet, wenn man einem trockenen Keime beide Kotyledonen abbricht und ihn dann in feuchte Erde steckt; dass aber solche Keime nur sehr wenig wachsen, kaum 2 Centim. lang werden; die Primordialblätter werden gar nicht entfaltet, obgleich sie, wenn sie nicht von Erde bedeckt sind, grün werden. Ganz anders ist es, wenn man nur einen Kotyledon abbricht; dann keimt die Pflanze schnell und wächst weiter als ob nichts geschehen wäre, aber sie bleibt schmächtig und alle Theile kleiner. Schneidet man eine trockene Bohne in der Mitte quer durch, ohne die Keimwurzel zu beschädigen, so keimt sie wie vorhin und liefert eine, wenn auch kleine, so doch gesunde und wachsthumsfähige Pflanze.

Hat man in demselben Boden mehrere keimende Bohnen von gleichem Alter und schneidet man einigen derselben vorsichtig, ohne den zarten Stengel zu verletzen, beide Kotyledonen ab, so bemerkt man schon am nächsten Tage einen Stillstand oder eine Verlangsamung des Wachsthums bei den operirten Keimen, welche mehrere Tage anhält; dann erholen sie sich wieder und wachsen gesund weiter, aber die Pflanzen behalten längere Zeit ein zwergartiges sehr zierliches Aussehen, alle Theile sind auf kleinere Maasse reducirt, aber normal gebildet. Dieser Effect macht sich in sehr verschiedenem Grade geltend, je nach dem Entwickelungszustande, in welchem sich der Keim bei der Operation befindet; je jünger der Keim, desto

störender wirkt sie; schneidet man die Kotyledonen im Alter II ab, so erholen sich die Keime erst nach 1—2 Wochen so weit, um merklich weiter zu wachsen. Die Operation im Zustand III oder zwischen III und IV vorgenommen, bedingt einen Stillstand von nur wenigen Tagen; bei Pflanzen vom Stadium IV und älteren wird die Wirkung schon unmerklich. Folgendes Beispiel wird einen genaueren Begriff von der Wirkung dieser Operation geben:

Eine Pflanze in der Mitte zwischen dem Stadium III und IV stehend wurde, ohne aus dem Boden genommen zu werden, ihrer Kotyledonen beraubt; in demselben Topfe mit ihr blieb eine andere, gleichalterige Pflanze. Als die letztere bis auf 75 Centim. Stengelhöhe herangewachsen war, war jene erst 18 Centim. hoch; die Fläche eines Primordialblattes bei der nicht operirten mass jetzt 120 Quadrat-Centim., die eines solchen bei der operirten mass 30 Quadrat-Centim.; jene hatte bereits fünf hochgestreckte Stengelglieder, diese erst eines über den Primordialblättern gebildet; das erste gedreite Blatt der operirten war in demselben Entwickelungsstadium wie das fünfte der gesunden. In demselben Grade war die Wurzelbildung retardirt.

Es findet ein wesentlicher Unterschied Statt, je nachdem die operirten Pflanzen in einem Topfe stehend dem zerstreuten Himmelslicht eines Nordfensters oder im freien Lande dem Sonnenscheine ausgesetzt sind. Jene behalten ihr zwerghaftes Aussehen immer bei, noch nach drei Monaten erkennt man die operirten an ihrem schwächlichen Aussehen; die im freien Lande dagegen werden in 2—3 Wochen so stark, dass man sie von den nicht operirten nicht mehr unterscheiden kann; ich sah viele solcher Bohnenpflanzen, die ich im Frühjahr der Kotyledonen beraubt hatte, als sie im Stadium III standen, im Spätsommer reife grosse Früchte trugen, deren Samen völlig normal und keimfähig waren.

Ich ziehe aus allen diesen Erscheinungen den Schluss, dass die in den Kotyledonen enthaltenen Stoffe während der Keimung in die junge Pflanze übergehen und ihre schnelle Vergrösserung und die rasche Folge der Neubildungen bewirken; dass dieser Übertritt der Nahrungsstoffe aus den Kotyledonen in die Pflanze eine verschiedene Bedeutung hat in den ersten und in den letzten Stadien der Keimung: in den ersten Stadien ist die Pflanze von diesen Assimilationsproducten der Mutterpflanze ganz und gar abhängig; in den letzten Stadien

hingegen dienen dieselben nur dazu, ihr mehr Kraft zu geben; es geht ferner aus diesen Versuchen hervor, dass die Keimpflanze schon zu einer Zeit, wo die Kotyledonen noch sehr viel Nahrungsstoffe enthalten, im Stande ist, selbstständig zu assimiliren, denn wäre dies nicht der Fall, so müssten die im Stadium III operirten Pflanzen später eingehen; ferner: die Pflanze wird um so stärker und grösser, je mehr sie von der mütterlichen Mitgift zu verzehren hat; eine solche von zwei Kotyledonen ernährt, wird grösser als eine von einem Kotyledon ernährte, und eine solche wieder stärker als eine, die man frühzeitig beider beraubte; es folgt ferner, dass unter dem Einflusse der directen Sonnenstrahlen die Assimilation der Keimpflanze energischer stattfindet, bis zu dem Grade, um die Wirkung der Operation ganz aufzuheben.

b) Über die Function der Plumula.

Wenn man einem Keim, welcher so eben die Erde durchbricht, das erste Stengelglied mit den Primordialblättern abschneidet, so tritt eine merkwürdige Erscheinung ein. Die in den Achseln der Kotyledonen befindlichen Knospen nämlich fangen in kurzer Zeit an zu treiben, aber sie bilden sich nicht zu normalen Zweigen aus, diese Zweige werden so breit, dass sie bandartig aussehen, und tragen eine grosse Zahl von Vegetationspunkten, an denen sich eine Menge sehr kleiner Blättchen entwickelt; dabei wird gewöhnlich eine Seite stärker, so dass sich die bandartigen Zweige wurmförmig krümmen; zuweilen geht dies so weit, dass von der dadurch veranlassten Spannung das Gewebe quer durchreisst; in anderen Fällen gewinnt der primäre Vegetationspunkt endlich das Übergewicht, es bilden sich normale Blätter und indem sich der zugehörige Theil der Fasciation verstärkt und streckt, wird der übrige Theil der fleischigen Masse zerrissen und bleibt in Fetzen an dem nun erstarkten untersten Gliede des Achseltriebes hängen.

So viel mir bekannt, ist dies das erste Beispiel von willkürlicher Production dieser Fasciation und es liegt nahe, die Ursache dieser wunderlichen Missbildung in einem Übermass von Nahrungszufuhr in die noch sehr jugendlichen Achselknospen der Kotyledonen zu suchen, was nur dann geschieht, wenn der Mitteltrieb (die Plumula) weggenommen ist; so lange diese verhanden ist, findet die

aus den Kotyledonen herbei geführte Nahrung ihren natürlichen Verbrauch zum Theil in der Ausbildung der schon vorhandenen Organe, zum Theil in der Neubildung von solchen; fehlt dagegen der Mitteltrieb, so treten die schon assimilirten Stoffe der Kotyledonen in die noch ganz unfertigen Achselknospen, und da sie hier noch keine angelegten Organe finden, so veranlassen sie eine ungeregelte und übermässige Neubildung. Zur Wiederholung dieser interessanten Experimente empfehle ich es als besondere Bedingung des Gelingens, dass man die Plumula zerstöre, so lange sie noch zwischen den Kotyledonen liegt.

Nimmt man den Mitteltrieb später weg, so tritt gewöhnlich keine solche Fasciation mehr auf, und die beiden Achselknospen der Kotyledonen entwickeln sich dann zu normalen kräftigen Zweigen mit gedreiten Blättern. Dies zeigt, dass die in den Kotyledonen enthaltenen Stoffe allein im Stande sind, eine normale Stamm- und Blattbildung zu erzeugen, ohne dass dabei die Aufnahme von Gasen und die ganze Blattthätigkeit mitwirken muss.

Nimmt man den Mitteltrieb über den Primordialblättern etwa im Stadium IV hinweg, so treiben die Achselknospen derselben aus, aber ich beobachtete in diesem Falle niemals eine Missbildung.

c) Blätter.

Schneidet man die Primordialblätter gleich nach dem Auftauchen des Keimes ab, so wächst der Mitteltrieb weiter; er ist jedoch geschwächt und erholt sich erst langsam; nimmt man dann noch die folgenden Blätter der Reihe nach ab, wie sie sich zu entfalten beginnen, so dass die Pflanze zu keiner Zeit eine erhebliche Blattfläche hat, so wird sie dadurch in eben so hohem Grade geschwächt, als ob man ihr die Kotyledonen genommen hätte.

Die Wirkung dieser Operation erstreckt sich sogar auf die Wurzelbildung, welche dadurch auf ein Minimum herabgedrückt wird.

Meine Versuche in dieser Richtung sind noch zu wenig zahlreich, um zu einem bestimmten Schlusse zu führen.

§. 5. Mikroskopische und chemische Veränderungen während der Keimung.

In diesem Paragraphe, der den Hauptgegenstand dieser Arbeit behandelt, habe ich nicht die Absicht, die Entwickelungsgeschichte der Zellen, Gefässe, ihrer Häute und Verdickungen, ihrer Theilungen und Streckungen durch neue Thatsachen im Sinne einer „allgemeinen Botanik“ zu vermehren. Die Botanik ist reich an meisterhaften Arbeiten dieser Art, und ich hätte diesen Reichthum wohl noch durch einige kleine Zuthaten vermehren können. Meine Absicht geht aber dahin, in möglichst einfachen Zügen ein Gesammtbild der gleichzeitigen Entwickelungsvorgänge im Bohnenkeim zu entwerfen. Ich habe den Versuch gemacht, zu zeigen, wie die morphologischen Veränderungen mit den chemischen Hand in Hand gehen, die Auflösung, Wanderung und endliche Ablagerung der mütterlichen Assimilationsproducte während der ersten Ausbildung des neuen Individuums. Ich habe mich, was die chemischen Veränderungen anbetrifft, nur auf die Angabe solcher Erscheinungen beschränkt, mit denen sich eine bestimmte Vorstellung verbinden lässt, alles kleinliche Detail, welches in keiner unmittelbaren Beziehung zum Gesammtbilde steht, hier ausgelassen. Speciell habe ich dagegen meine Aufmerksamkeit auf die Vertheilung der sicher nachweisbaren Stoffe gelenkt; denn dieser bisher so sehr vernachlässigte Gegenstand ist, wie mir scheint, am ehesten geeignet eine klare physiologische Einsicht vorzubereiten; einerseits muss man zugeben, dass der Lebensprocess gerade in den Stoffen des Zelleninhaltes unmittelbar stattfindet, wogegen die erstarrten Formen der Zellhäute nur als die jeweiligen Producte desselben anzusehen sind; andererseits müssen aus der Art und Weise, wie die Stoffe neben und nach einander erscheinen, sich gewisse Beziehungen offenbaren, aus denen man auf ihren Ursprung und auf ihre Wirkungen im Entwickelungsgange des Gesammtlebens schliessen kann; es ist sogar möglich, dass durch eine genaue Kenntniss der Art und Weise, wie die Stoffe in den Geweben auftreten, sich vertheilen und endlich verschwinden, dem Chemiker ein Criterium geboten wird, wonach er seine im Laboratorium studirten Stoffe nun als Bestandtheile eines lebendigen Organismus beurtheilen kann. Das genaueste Studium der Zersetzungsproducte, Umwandlungen, die Kenntniss der

rationellen Formeln ist doch immer nur Chemie, keine Physiologie; der Chemiker kann uns nur sagen, was in der Pflanze möglich ist; welcher von den möglichen Fällen stattfindet, kann dagegen nur durch directe Beobachtung entschieden werden. Gerade die höchsten organischen Verbindungen, an denen sich unmittelbar der Gestaltungsprocess der Pflanze vollzieht, die Eiweissstoffe und Kohlehydrate, die allgemein verbreiteten Zellstoffe haben der Chemie bisher so viele Schwierigkeiten gemacht, dass wohl der Gedanke erlaubt ist, die Physiologie könne hier der Chemie auf die rechte Bahn verhelfen. Was ich in dieser Beziehung zu bieten im Stande bin, ist allerdings nur ein erster Anfang, und wenn ich diesen sehr zeitraubenden und mühsamen Arbeiten einen Werth beilegen darf, so liegt er weniger in den neuen Thatsachen, als in der Methode sie zu finden und darzustellen. Hätte ich hier die sehr zahlreichen Farbenskizzen über die morphologischen und chemischen Zustände der Gewebe beifügen können, so hätte diese Arbeit wohl an Übersichtlichkeit und Genauigkeit gewonnen, sie wäre aber allzu umfangreich geworden; ich muss daher bitten, die beigegebenen Tafeln nur als beispielsweise zur nothdürftigsten Orientirung dienend zu betrachten.

a) Das erste Erwachen des Lebens im Keime

macht sich lange vorher im Inhalt der Zellgewebe geltend, ehe noch das Austreten des Würzelchens aus der Samenschale als äusseres Kennzeichen des Keimungsactes auftritt. Wenn man einen trockenen Samen in feuchte Erde von 15—20° R. gelegt hat, so findet man schon nach vierundzwanzig Stunden das ganze Gewebe des Markes und der Rinde, das Blattparenchym und die Zellen der Blattstiele mit unzähligen sehr kleinen Stärkekörnchen angefüllt. Schon nach 18stündigem Liegen in der Erde bemerkt man in der Nähe der Kotyledonen-Ansätze eine beträchtliche Zunahme des Stärkegehaltes der Zellen in Rinde und Mark. Die Stärke verbreitet sich von den Kotyledonen ausgehend theils nach oben in das erste Stengelglied, theils nach unten bis zur Wurzelspitze. Diese überraschend schnelle Wanderung der Stärke ist nothwendiger Weise mit einer theilweisen Auflösung der in den Kotyledonen enthaltenen Körner und nachherigem Niederschlag dieses aufgelösten Stoffes in den Zellen der Axe verbunden. Ich kam auf den Gedanken, dass es

möglich wäre, bei diesem Vorgange gelöste Stärke in den Zellen, welche diese Wanderung vermitteln, aufzufinden; aber alle angewandte Mühe blieb vergeblich; man findet jetzt wie später die Stärke immer nur in Körnchengestalt, und dennoch muss sie in Gestalt einer Lösung von Zelle zu Zelle gehen. Man kann hieraus zweierlei Vermuthungen ziehen; einmal ist es möglich, dass die Stärke, sobald sie sich löst, eine andere chemische Constitution annimmt, also keine Stärke mehr ist, dass aber dieser neue Stoff im Stande ist, sogleich wieder als Stärke in Körnerform sich niederzuschlagen; andererseits scheint mir die Annahme zulässig, dass in der That im Keim ein Lösungsmittel für Stärke vorhanden ist, wobei die Stärke ihre chemische Formel nicht ändert, dass aber die gelöste Varietät dieses Stoffes auf Jod nicht reagirt; diese Ansicht würde sich mit der Liebig'schen Theorie, dass die Jodstärke eine blos mechanische Verbindung sei, recht wohl vertragen.

Besonderes Gewicht glaube ich auf den Umstand legen zu müssen, dass weder jetzt noch später in den Zellen des producirenden Gewebes und in der Epidermis Stärke zu finden ist. Auch in den aus producirendem Gewebe bestehenden Strängen der Kotyledonen findet man niemals eine Spur von Stärke.

Der Erguss von Stärke aus den Kotyledonen in die Keimaxe dauert nun fort während der ganzen Keimungsperiode, und in dem Masse als der Keim wächst, nimmt die Stärke in den Zellen der Kotyledonen ab; jedoch wird diese Abnahme erst im III. und IV. Stadium an mikroskopischen Schnitten bemerklich. Man überzeugt sich leicht, dass die Auflösung und der Abfluss der Stärke zuerst in den Zellen des Kotyledons, die der Keimaxe zunächst liegen, stattfindet. An der Basis der Kotyledonen findet man nicht nur die meisten in Auflösung begriffenen Stärkekörner, sondern in den späteren Stadien (IV — V) ist die Basis dieser Behälter bereits ganz leer von Stärke, während in den Vordertheilen derselben noch zahlreiche und nicht corrodirte Körner liegen.

In Bezug auf die Function der verschiedenen Gewebeformen und der in ihnen enthaltenen Stoffe ist der Umstand von Gewicht, dass die Stärke zuerst in denjenigen Zellen des Kotyledonparenchyms aufgelöst wird und verschwindet, welche am weitesten von den Strängen des producirenden Gewebes entfernt sind, in den grossen Zellen, welche zwischen diesen Strängen und zwischen ihnen und

der Epidermis liegen. Im Stadium IV findet man diese Zellen bereits völlig entleert, dagegen sind die Zellen, welche die producirenden Stränge unmittelbar umlagern, noch dicht angefüllt mit grossen und nicht corrodirten Stärkekörnern. Man kann in diesem Zustande den Kotyledon bezeichnen als eine leere Parenchymmasse, welche durchzogen ist von den Strängen producirenden Gewebes, die ihrerseits umhüllt sind von einer aus Parenchymzellen bestehenden Scheide, deren Zellen voll Stärke sind; erst ganz zuletzt im Stadium V verlieren auch diese Zellen ihre Stärke, jedoch nicht immer vollständig; denn selbst in den schon abgefaulten Kotyledonen findet man zuweilen um die Bündel herum noch einzelne Körner in den Zellen.

Ich glaube, dieses Verhalten liefert den strengsten Beweis dafür, dass die aufgelöste Stärke in den Parenchymzellen selbst fortgeleitet und in den Keim übergeführt wird; denn wären die Zellenstränge die Wege dieser Fortführung, so bliebe es ganz unbegreiflich, warum gerade in ihrer Nähe die Körner am längsten liegen bleiben.

Die Fig. IV *C* auf Taf. II zeigt den vergrösserten Umriss eines Kotyledons mit zwei in denselben eingezeichneten Querschnitten 1 und 2. An der Basis bei 2 ist die Stärke bereits ganz verschwunden; an der Spitze bei 1 ist dagegen jedes Gefässbündel noch von Stärke umgeben, was durch die dunkle Grundirung angedeutet ist.

Die Auflösung der Stärkekörner findet bei der Bohne von innen nach aussen Statt, ein Verhalten, welches dem bei der Auflösung der Stärkekörner im Endosperm des türkischen Weizens gerade entgegengesetzt ist.

Die erste Veränderung, welche sich in den Stärkekörnern der Kotyledonen bei der Keimung zeigt, besteht darin, dass sich der innere Spalt mit Flüssigkeit füllt (siehe Taf. III, Fig. IV, *S* 1). Alsdann vergrössert sich das Lumen des Spaltes (2), seine Ränder nehmen ein zerfressenes Aussehen an (3, 4) und häufig sieht man von der inneren Höhlung aus einzelne Canäle nach aussen verlaufen (5·5); endlich wird die innere Höhlung so gross und die Canäle dringen bis zur Oberfläche (6, 7, 8), dass nun das Korn zerfällt zuweilen in grössere Stücke (8, 6), zuweilen sogleich in viele kleine zerbröckelt (7, 8). Solche Bröckchen grösserer corrodirter Körner findet man in grosser Anzahl in den Zellen der Kotyledonen-

basis in dem Stadium II—IV. Eben solche findet man jederzeit in den Spitzen der Kotyledonen. Man sieht in derselben Zelle immer ganze Körner mit zerfressenen zusammen, und zwar ist die Anzahl der letzteren im Verhältniss zu jenen immer gering, ein Umstand, der mir darauf hinzuweisen scheint, dass einerseits der Stoff, welcher die Lösung bewirkt, immer nur in geringer Quantität zugegen ist, während andererseits die einmal aufgelöste Stärke sogleich weiter geführt wird.

Während dieser äusseren Veränderungen findet auch eine innere chemische Änderung Statt. Die Körner des trockenen Samens nämlich färben sich mit Jodlösung dunkel violet bis zum Undurchsichtigen; die Körner eines keimenden Samens dagegen nehmen mit derselben Lösung in derselben Menge versetzt, eine weinrothe helle Färbung an. — Durch diese Reaction wird in der That nur dieser Übergangszustand bezeichnet, denn die im Keime wieder deponirte Stärke reagirt auf Jod wieder dunkelviolet mit derselben Jodlösung.

Zugleich mit der Stärke, werden auch die im Parenchym der Kotyledonen enthaltenen Eiweissstoffe aufgelöst und fortgeführt. An Quer- und Längsschnitten derselben, welche man nach der von mir angegebenen Methode mit $CuOSO_3$ und dann mit KOHO behandelt, überzeugt man sich, dass die albuminosen Materien im IV. Stadium bereits aus dem Parenchym der Kotyledonen fast ganz verschwunden sind, während die Epidermiszellen und die Stränge noch damit gefüllt sind, diese werden violet.

Auch eine Wanderung der mineralischen Stoffe der Kotyledonen in den Keim findet Statt. Wenn man dünne Schnitte aus dem Kotyledon einer im Stadium II befindlichen Pflanze auf einem Platinblech ausgebreitet und dann von unten mit einer Spiritusflamme stark erhitzt, so bleibt ein weisses ziemlich voluminöses Aschenskelet aller Zellen übrig, welches unter der Loupe einen sehr zierlichen Anblick darbietet; ein eben so dicker Schnitt aus dem Kotyledon einer Pflanze im Stadium V dagegen hinterlässt nach dem Verbrennen auf dem Platinblech gewissermassen nur einen Hauch von Asche. Da, wie ich noch später zeigen werde, die Asche in den Zellhäuten selbst eingelagert ist, so geben also auch diese bei der Keimung etwas zur Neubildung der Organe her.

Zucker und Dextrin tritt in der Keimaxe auf, schon wenn der Same erst 24 Stunden in warmer feuchter Erde lag und wenn

die Wurzel noch nicht ausgetreten ist. Behandelt man einen Längsschnitt der Keimaxe erst mit $CuOSO_3$ und kocht ihn dann in KOHO Lösung, so findet in den Zellen des Markes zwischen den Kotyledon-Ansätzen, im Mark und in der Rinde des ersten Gliedes ein reichlicher Niederschlag von rothem Cu_2O Statt.

Dass die Stärke der Kotyledonen bei ihrer Auflösung und Wanderung nicht in Zucker und nicht in Dextrin übergeht, erkennt man daran, dass man in den Kotyledonen niemals einen Niederschlag von rothem Cu_2O bekommt, nur in späteren Zuständen, wo die ganze Axe Zucker enthält, findet man auch in der Basis der Kotyledonen Spuren davon, niemals in der Mitte oder Spitze derselben. Sobald die Keimwurzel um 1—2 Millim. aus der Schale herausgetreten ist, enthält Mark und Rinde der ganzen Axe Zucker.

Um diese Zeit füllen sich auch die Gerbstoffgefässe des producirenden Gewebes zwischen den Kotyledonen mit Gerbstoff; von hier aus steigt dieser Process einerseits gegen die Terminalknospe hin, andererseits verbreitet er sich in die Stränge der Kotyledonen hinein.

Vergegenwärtigen wir uns noch einmal, was in dem Samen stattgefunden hat bis zu dem Moment, wo die Wurzelspitze die Haut durchbricht, ein Moment, den man bisher als den Beginn der Keimung bezeichnete, so finden wir, dass unterdessen alle Zellen des Samens thätig gewesen sind; das ganze Parenchym der Axe hat sich mit Stärke gefüllt, im Mark und Rinde ist Zucker und Dextrin entstanden, und im producirenden Geweberohr haben sich die Gerbstoffgefässe mit Gerbstoff gefüllt. Dagegen hat bis zu diesem Moment noch keine Neubildung stattgefunden, und nur das hypokotyle Glied hat sich gestreckt.

b) Veränderungen bis zum Stadium II.

Zu der Zeit, wo die Keimwurzel 2—3 Centim. lang geworden ist, erhebt sich auch die Terminalknospe schon ein wenig und rechts und links zeigen sich Hügel, die jungen Blattanlagen. Die weitere Ausbildung derselben geht rasch fort, und sobald man die ersten Spuren der Seitenwurzeln in der Rinde der Hauptwurzel bemerkt, ist auch schon das erste gedreite Blatt mit seinen drei Theilen fertig angelangt, und mehrere neue Blattanlagen umgeben den Vegetationspunkt. Unterdessen sind auf der Oberhaut des hypokotylen Gliedes

und der ganzen Plumula, auf beiden Blattseiten und auf den Oberflächen der neuen Blattanlagen die Haare gleichzeitig an allen diesen Theilen entstanden; sie erscheinen sämmtlich um die Zeit, wo die Wurzel 2—3 Centim. lang und die ersten Blattanlagen auftreten in Gestalt von einfachen Papillen; im Stadium II sind dieselben schon der Gestalt nach fertig angelegt; die einen bestehen aus einer langen hakenförmig gekrümmten Zelle, die anderen aus einem vierzelligen Ballen, der auf einem dreizelligen Stiele sitzt; beide Formen sind ungesetzmässig an allen Theilen unter einander gemischt.

Gleichzeitig mit den Haaren sind in den Leisten des producirenden Geweberohres die ersten sehr engen Spiralgefässe entstanden. Wenn die Wurzel 2 — 3 Centim. lang ist, kann man sie vom hypokotylen Gliede bis hinauf in die Nerven der Primordialblätter verfolgen, und in den producirenden Strängen ber Kotyledonen steigen sie von der Basis aus bis etwa zur Mitte ihrer Länge. Auf dem Punkte angelangt, den ich als Stadium II bezeichne, durchziehen die Spiralgefässe alle Leisten und Stränge des producirenden Gewebes und gehen bereits bis in die neugebildeten Blattanlagen hinein.

Unterhalb des hypokotylen Gliedes, also in der eigentlichen Wurzel, gibt es keine Spiralgefässe.

Hier treten gleich anfangs getüpfelte Gefässe auf, welche in dicht gedrängten Bündeln die vier Leisten des producirenden Wurzelgewebes durchziehen und ziemlich weit oberhalb der Wurzelspitze endigen. Die auf der äusseren Seite der producirenden Wurzelleisten entstandenen Nebenwurzeln I. Ordnung sind noch ohne Gefässe. Die Spiralgefässe des Stengels und der Blätter führen schon Luft; die getüpfelten der Wurzel sind viel weiter und enthalten noch Flüssigkeit, denn sie werden sich noch um das zwei- bis dreifache ausdehnen.

Während diese Neubildungen bis zum Stadium II auftraten, finden nun auch wesentliche Änderungen in den Stoffen der verschiedenen Gewebeformen Statt. Als die Wurzel eben die Schale durchbrach, enthielt alles Parenchym viel kleinkörnige Stärke; in dem Momente aber, wo der oberste Theil der neugebildeten Wurzel sich streckt, verschwindet beinahe alle Stärke aus diesem Theile, nur die das producirende Gewebe desselben umgebende Zellschichte ist noch voll davon. Die Wurzelhaube, das Mark und die Rinde der Wurzelspitze, alles Parenchym des hypokotylen Gliedes und der

Plumula ist noch voll von Stärke; besonders hervorzuheben ist es, dass die Stärke bis in die jüngsten eben erst angelegten Blätter hin eingeht, und in den von Zwischenräumen umgebenen Zellen des Markes unmittelbar unter der Terminalknospe niemals fehlt. In der Oberhaut und ihren Haaren, in dem producirenden Geweberohr und in den Strängen findet man auch jetzt keine Stärke; dagegen sind alle Zellen dieses von Luft führenden Zwischenräumen freien Gewebes mit Eiweissstoffen angefüllt, sie sind nach Behandlung mit $CuOSO_3$ und KOHO mit einer violeten Flüssigkeit gefüllt.

Der Zucker und das Dextrin scheinen sich während dieser Periode in der Rinde der ganzen Axe bedeutend gemehrt zu haben, auch ist das Mark von der Wurzelspitze bis hinauf zu den Blättern reich an diesen Stoffen. Weder jetzt noch später lässt sich in dem producirenden Gewebe, in der Epidermis und ihren Haaren, noch in der Terminalknospe oder in den Wurzelanlagen eine Spur von Zucker nachweisen; alle diese Theile werden mit $CuOSO_3$ und KOHO dunkelviolet und geben keinen Niederschlag von rothem Cu_2O.

Der Gerbstoff erfüllt jetzt alle Gerbstoffgefässe, welche schon im ruhenden Samen vorhanden waren, und schon haben sich neue solcher Gefässe in der Terminalknospe gebildet und mit Gerbstoff gefüllt, sie setzen die Reihen der älteren nach oben fort; nach unten, d. h. unterhalb des hypokotylen Gliedes werden keine Gerbstoffgefässe gebildet; die eigentliche Wurzel führt bei der Bohne niemals Gerbstoff.

Die Ablagerung von Cellulose in den Bastzellen hat noch nicht angefangen, die Bastzellen des Stengels sind noch sehr dünnwandig und die der Wurzel werden eben erst angelangt; in der Wurzel entstehen die Bastbündel zwischen den Leisten innerhalb des producirenden Geweberohres.

Das Cambium ist im Stadium II schon überall in Thätigkeit im hypokotylen Gliede und im Stengel ist die Zellenschichte zwischen den Gerbstoffgefässen und den Spiralgefässen in Theilungen (parallel der Peripherie) begriffen; in der Wurzel dagegen sind es nur vier Zellenstränge innerhalb des producirenden Rohres, welche zwischen den Leisten innerhalb der jungen Bastbündel liegen; aus diesen vier Cambiumsträngen gehen die vier neuen secundären Gefässbündel hervor.

Während das Mark um diese Zeit durch den Gehalt an Stärke, Zucker und Dextrin, die Rinde durch Stärke allein, die produciren-

den Gewebe durch Eiweissstoffe charakterisirt sind, ist es die Epidermis und ihre Zellen durch einen anderen unbekannten Stoff, welcher mit KOHO sowohl als mit c. c. SO_3HO eine intensiv schwefelgelbe Flüssigkeit gibt. Dieser Stoff tritt in der Epidermis und den Haaren schon vor dem Stadium II auf und bleibt darin während der ganzen Lebensdauer.

Die Primordialblätter enthalten im Stadium II Stärke in allen den Zellen, zwischen welchen Luft führende Räume verlaufen. Haare, Epidermis und producirendes Gewebe, so wie auch die in Theilung begriffene und noch fest zusammenschliessende zweite Parenchymschichte sind frei davon; Zucker und Dextrin sind hier nicht nachzuweisen.

In den Blättern, die noch ganz zwischen den Kotyledonen liegen, ist bis jetzt kein Chlorophyll; die Zellen sind mit einem farblosen Plasma gefüllt, welches die Zellwände auskleidet und die Kerne umgibt. Wenn man dünne Schnitte aus diesem Gewebe mit c. c. SO_3HO behandelt, so färbt sich das Plasma in kurzer Zeit schön spangrün in den Zellen der beiden oberen Schichten. Ich habe in der ersten Nummer des Lotos 1859 zu zeigen gesucht, dass diese Reaction das Vorhandensein eines farblosen Chromogens anzeigt, aus welchem sich das Chlorophyll durch einen Oxydationsprocess bildet; dieses Chromogen ist also schon jetzt vorhanden; in der That werden auch schon jetzt Blätter grün, wenn man sie dem Lichte aussetzt.

Ich füge hier eine Übersicht bei, welche im Anschlusse an die frühere das Stadium II kurz charakterisiren und die seit dem Legen des Samens (Stadium I) stattgefundenen Veränderungen besonders hervorheben soll.

STADIUM II.

Formen

unverändert:	in Veränderung durch Dehnung begriffen:
Gewebe der Kotyledonen.	Gewebe der ganzen Plumula, besonders der untere Theil des ersten Gliedes.

Die definitive Streckung haben erreicht:

Hypokotyles Glied und der obere Theil der Wurzel.

Erste Ausbildung der Formelemente von I.

Bast, noch dünnhäutig.

Cambium, beginnende Theilung.

Holz, erste Verdickung.

Spiralgefässe, Spiralfaser.

Epidermiszellen.

Neubildungen:

Der grösste Theil der Pfahlwurzel.

Die Nebenwurzeln I. Ordnung.

Haare auf der Wurzel.

Bast der Wurzel.

Gefässe der Wurzel.

Haare der Epidermis.

Leisten auf den Blattnerven.

Anastomosen des Blattnerven.

Bewegungsorgane.

Blätter der Terminalknospe.

Noch nicht angelegt:

die Spaltöffnungen.

Stoffe in den Zellen:

Stärke und Eiweissstoffe:

Parenchym der Kotyledonen.

Rinde der Wurzelspitze.

Mark der Wurzelspitze.

Wurzelhauben.

Rinde und Mark der Terminalknospe.

Rinde im oberen Theil des ersten Gliedes.

Rinde der Blattstiele, Blattnerven und Bewegungsorgane.

Untere Schichte des Blattparenchyms.

Die Stärke ist schon verschwunden:

im gestreckten Theil des Wurzelparenchyms.

Eiweissstoffe ohne Stärke:

Epidermis überall sammt ihren Anhängseln.

Alles producirende Gewebe ausser dem Stärkering.

Urparenchym der Terminalknospe der Wurzelspitze und der jungen Nebenwurzeln.

Theile, welche Stärke enthalten und aus denen die Eiweissstoffe verschwunden sind:

Mark und Rinde des hypokotylen Gliedes.

Neu entstandene Stoffe:

Zucker und Dextrin.

Gelbwerdender Stoff in der Epidermis.

Gerbstoff in den Gerbstoffgefässen.

Rother Farbstoff in den Gerbstoffgefässen.

Stärke vorhanden in:	Zucker und Dextrin in:
Wurzelhaube.	—
Rinde und Mark der Wurzelspitze	—
	Rinde und Mark der sich streckenden Wurzel.
Rinde und Mark des hypokotylen Gliedes.	Rinde und Mark des hypokotylen Gliedes.
Rinde und Mark des unteren Theiles des ersten Gliedes.	Rinde und Mark des unteren Theiles des ersten Gliedes.
Rinde des obern Theiles.	Mark des obern Theiles.
Rinde und Mark des zweiten Gliedes, Mark des dritten Gliedes, Rinde und Mark der Bewegungsorgane, Rinde der Stiele, Rinde der Nerven, Unterseite des Blattparenchyms	enthalten keinen Zucker und kein Dextrin.

Luft ist vorhanden in

den Zwischenräumen des Mark-, Rinden- und Blattparenchyms.	den Spiralgefässen des ersten Stengelgliedes.

c) Veränderungen bis zu Stadium IV.

Die Zeit zwischen dem Stadium II und IV ist hauptsächlich durch die Ausdehnung der schon angelegten Nebenwurzeln I. Ordnung, durch die Streckung und Aufrichtung des Stengels charakterisirt; in der Hauptwurzel finden jetzt keine wesentlichen Änderungen Statt.

Während die Nebenwurzeln I. Ordnung die Rinde der Hauptwurzel durchbrechen und sich strecken, tritt in den schon angelegten vier Gefässbündeln Erweiterung der schon vorhandenen und Neubildung anderer Gefässe ein (Taf. III, Fig. IV β zuerst entstandenen, umgekehrt wie im Stengel-Querschnitt der Wurzel im Stadium IV bei β in Fig. IV, Taf. II genommen); die Gefässe verdicken sich rasch; ihre Wände sind getüpfelt; sie füllen sich gegen das Stadium IV mit Luft.

Die Zellen der ebenfalls schon angelegten vier Bastbündel verdicken sich sehr schnell; bis zum Stadium IV findet keine Anlage neuer Bastbündel Statt.

Die innerste Schichte des Wurzelrindenparenchyms fängt gegen IV hin an sich dadurch auszuzeichnen, dass in ihren Zellen grosse Krystalle von schwefelsaurem Kalk sich ablagern, ein Vorgang, der nur dieser Zellschichte eigen ist (Taf. III, Fig. IV β).

Der innere Bau der Nebenwurzeln I. Ordnung ist dem der Hauptwurzel gleich, sie treten horizontal oder ein wenig abwärts gerichtet hervor und erst bei weiterem Wachsthum biegen sie nach unten.

Im hypokotylen Gliede bildet sich jetzt ein aus getüpfelten Gefässen und schnell sich verdickenden Holzzellen bestehender Cylinder.

Das erste Stengelglied streckt sich, wie erwähnt, zuerst im unteren Theile, und dann Schritt für Schritt in den nächst oberen Theilen; die Parenchymzellen ändern dem entsprechend ihre Grösse und Gestalt; in dem Masse, wie in einem Querschnitt die Streckung aufhört, findet Verdickung der schon angelegten weiten Gefässe Statt, die sich nun zu getüpfelten ausbilden; gleichzeitig damit verdicken sich die ebenfalls schon vorhandenen Holzzellen zwischen den Gefässbündeln und den Bastzellen; diese letzteren jedoch verdicken sich im Stengel viel langsamer als in der Wurzel. Überhaupt haben Gefässbündel, Holz, Bast im Stengel im Stadium IV noch ein jugendliches Aussehen, während diese Theile in der Hauptwurzel bereits ihre definitive Bildung besitzen; und je höher man im Stengelglied von unten nach oben geht, desto jugendlicher sind die Elemente. Taf. III, Fig. IV *b* ist ein Theil des Querschnittes von Fig. IV auf Taf. II bei *b*; *L* die schon im ruhenden Keime vorhandene Gewebeleiste, in welcher die Spiralgefässe (*S*) bereits vor dem Stadium II entstanden sind, während erst jetzt die getüpfelten Gefässe (*g g k*) und die Holzzellen (*h*) sich verdicken; der Bast (*b*) ist noch ziemlich dünnhäutig.

An den Blattstielen bilden sich zwischen den Stadien II und IV die Bewegungsorgane aus; sie sind anfangs dünner als der Stiel, erst nach dem Stadium IV werden die unteren dicker.

In den Blattstielen und Nerven sind die Elemente der Gefässbündel des Bastes noch jugendlicher als im oberen Stengelglied.

In den beiden oberen Parenchymschichten der Lamina finden bis dahin die letzten Theilungen (senkrecht zur Fläche) Statt, daraus geht das Säulengewebe, aus sehr schmalen, langen Zellen bestehend, hervor; erst nach dem Stadium IV erhalten diese Zellen ihre letzte Dehnung.

Die Epidermiszellen haben sich während der sehr bedeutenden Streckung der Theile, welche sie überziehen, nicht wesentlich vermehrt; sie haben sich in demselben Masse wie die Rindenzellen ausgedehnt; am Stengelglied hat diese Ausdehnung vorzüglich im Sinne der Längsaxe stattgefunden; hier wie bei anderen Geweben ist der definitiv grösste Durchmesser der Zellen derjenige, welcher nach beendigter Theilung der kleinste war.

Die Haare, schon vor dem Stadium II angelegt, verdicken sich jetzt ein Wenig.

Auch die Oberhautzellen der Lamina, obwohl sich diese sehr ausdehnt, vermehren sich seit dem Stadium II nicht mehr. Die Ausdehnung dieser Oberhautzellen in verschiedenen Richtungen ist aber verschieden, anfangs grenzten sie mit ebenen Wänden an einander; nach und nach werden diese Ebenen wellig, und im Stadium IV greifen die Oberhautzellen der Lamina mit stark ein- und ausspringenden Winkeln in einander. Auf den Nerven dagegen behalten sie die ebenen Wände wie am Stengel.

Die Leisten auf der Oberseite der Nerven sind Oberhautgebilde, sie entstehen schon vor dem Stadium II und erhalten ihre Vollendung bis zum Stadium IV.

Die Spaltöffnungen sind die letzte Neubildung auf den im ruhenden Keime schon angelegten Theilen; sie entstehen erst zwischen den Stadien III und IV; es ist, so viel mir bekannt, eine noch unbekannte Thatsache, dass sie auf den vergeilten Theilen einer im Dunkel erwachsenen Bohne nicht entstehen. Ihre Anlage und Ausbildung dauert lange Zeit fort, noch zwischen IV und V bilden sich neue auf der Lamina zwischen den schon fertigen Spaltöffnungen.

Die Stärke fährt fort aus dem Kotyledon in die Keimaxe überzugehen. Mark und Rinde des hypokotylen Gliedes sind seit dem Beginn der Keimung bis zum Stadium IV immerfort damit erfüllt (vgl. hier und im Folgenden Taf. II, alles schwarz Grundirte bedeutet Stärke in den Geweben, je dunkler, desto mehr Stärke). Im gestreck-

ten Theil der Hauptwurzel ist dagegen die Stärke ganz verschwunden. Mark und Rinde der Wurzelspitze aber enthalten noch ein wenig; die Nebenwurzeln enthalten niemals Stärke in Mark und Rinde, dagegen sind ihre Wurzelhauben gleich der Wurzelhaube der Hauptwurzel jetzt und während des ganzen Lebens mit Stärke erfüllt. Die untere Hälfte des sich streckenden Stengelgliedes verliert ihre Stärke aus Mark und Rinde schon zwischen den Stadien II und III (Taf. II). Um diese Zeit enthält die Rinde und die äusseren Markzellen des oberen noch ungestreckten Theiles des Gliedes noch viel Stärke; aber auch hier verschwindet sie, sobald dieser Theil sich streckt und gerade aufrichtet (vergl. Taf. II, Fig. II, III mit Fig. IV). So lange die Blätter noch zusammengefaltet sind und die Stiele noch nicht auseinander gebogen sind, enthalten Mark und Rinde derselben viel Stärke, sobald dieses aber stattgefunden hat, ist auch die Stärke hier verschwunden; um dieselbe Zeit, wo die Dehnung der Lamina anfängt bedeutender zu werden, verschwindet auch aus den unteren Schichten ihres Parenchyms die Stärke. Zuletzt enthält nur noch Mark und Rinde des neu entstandenen Stengelgliedes und die jungen Blätter eine Spur von Stärke, die aber auch zugleich mit beginnender Streckung dieser Theile verschwindet.

So ist im Stadium IV ausser dem hypokotylen Gliede alles Parenchym frei von Stärke (Taf II, Fig. IV); aber im Kotyledon ist noch eine bedeutende Quantität desselben enthalten, die fortwährend in das hypokotyle Glied übertritt. Von hier aus scheint sie durch eine einzige Zellschichte in die oberen Theile hinaufgeführt zu werden; diese Zellschichte umgibt das producirende Geweberohr des Stengels und die Aussenseite der producirenden Stränge in den Blattstielen und Nerven; sie ist dieselbe Schichte, welche schon im ruhenden Keime aus kubischen Zellen bestehend (Taf. I, Fig. I *l* bei *st*) das producirende Gewebe von dem Rindenparenchym abgrenzte. Diese Zellen haben sich jetzt gestreckt, sind aber kleiner als die Rindenzellen, und machen sich noch jetzt dadurch, dass sie ohne Zwischenräume an einander schliessen, als ein Glied des producirenden Gewebes geltend (Taf. III, Fig. IV *b* bei *st*).

Diese Zellenschichte habe ich bei allen von mir untersuchten Keimen wiedergefunden, überall führte sie noch Stärke zu einer Zeit, wo sie aus allen anderen Geweben verschwunden war, und was besonders merkwürdig ist, sie führt bei der Keimung ölhaltiger

Samen die Stärke, welche sich aus dem Öl bildet. Daher nenne ich diese Schicht den Stärkering oder Stärkecylinder.

Eine ähnliche Schichte umgibt auch das producirende Gewebe-rohr der Wurzel bei allen phanerogamen Keimen, die ich bisher untersucht habe, jedoch verschwindet in der Wurzel die Stärke auch aus dieser Schichte schon sehr früh. Der Stärkecylinder setzt sich auch in die neu angelegten Stengelglieder und Blätter hinauf fort. Ich halte den Stärkecylinder für dieselbe Schichte, welche Caspari als Schutzzellenscheide bezeichnet.

Der Stärkecylinder führt nur so lange Stärke als im Kotyledon und im hypokotylen Gliede noch solche enthalten ist; erst dann, wenn der Kotyledon entleert ist, verschwindet sie auch allmählich aus dem Stärkering; dies geschieht um die Zeit des Stadium V, wo die ganze Bohnenpflanze von disponibler Stärke befreit ist.

Aus dem Umstand, dass die Stärke aus dem Stärkecylinder erst dann verschwindet, wenn auch in den Kotyledonen keine Stärke mehr ist, aus dem Umstande ferner, dass diese Zellschicht während der Zeit (Stadium IV), wo die angelegten neuen Stengelglieder und Blätter ihre Dehnung und Kräftigung erhalten sollen (also zwischen Stadium IV und V), die einzige Verbindung zwischen dem stärkeführenden Kotyledon und den Theilen, welche noch der letzten Ausbildung bedürfen, herstellt, ferner aus dem Umstande, dass aus dieser Schicht die Stärke verschwindet, wenn die neugebildeten Blätter sich ausgedehnt haben, schliesse ich, dass der Stärkecylinder das Organ der Fortleitung dieses Stoffes ist, und dass die in ihm enthaltenen Stärkekörner in fortwährendem Entstehen und folgender Auflösung und Weiterleitung nach oben begriffen sind. Erst zur Zeit, wo die Blüthenknospen entstehen, also mehrere Wochen später, entsteht neue selbst erzeugte Stärke in der Pflanze, und dann erscheint sie merkwürdiger Weise nur im Stärkering der Stengelglieder und sammelt sich in dem Parenchym der Wurzel und des hypokotylen Gliedes, so dass es wahrscheinlich wird, dass gegen das Ende der Vegetation dieselben Zellen, welche während der Keimung die Stärke von unten hinaufführten, sie nun von oben hinunter führen.

Merkwürdiger Weise bleibt bei dem gänzlichen Verschwinden der Stärke aus dem Parenchym die Stärke in den Wurzelhauben und in den Spaltöffnungszellen verschont; diese Zellen führen zu allen Zeiten Stärke; das ist zumal bei den Spaltöffnungszellen über-

raschend, da alle anderen Elemente der Oberhaut niemals Stärke führen. Es wäre möglich, dass die Spaltöffnungszellen stärkebildende Organe vorstellen, aus denen die Stärke in dem Masse als sie entsteht, in die inneren Gewebe überführt wird; bekanntlich steht die Respiration mit dem Vorhandensein der Spaltöffnungen und noch weniger mit ihrer Anzahl in keinem nachweisbaren Verhältnisse; dagegen findet auch hier das allgemeine Gesetz Anwendung, dass Stärke nur in Zellen vorkommt, zwischen denen Luft enthalten ist; denn alle zusammenschliessenden Zellen der Epidermis sind frei davon, nur die mit dem Zwischenraume versehenen Spaltöffnungszellen halten Stärke und zwar erst dann, wenn die Wände aus einander weichen. So wunderlich es auf den ersten Augenblick auch aussehen mag, die Spaltöffnungszellen als stärkebildende Organe zu bezeichnen, so gewinnt der Gedanke bei näherer Betrachtung doch an Wahrscheinlichkeit. Nicht nur bei der Bohne, sondern auch bei allen andern Samen endigt die Keimung damit, dass die Stärke, welche von der Mutterpflanze herstammt, völlig aufgezehrt wird, dann tritt eine längere Periode, die erste eigentliche Vegetationsperiode ein, wo gar keine Stärke im Parenchym ist; nun entstehen gerade während dieser Zeit die meisten Blätter und mit ihnen die meisten Spaltöffnungen; jede Spaltöffnungszelle enthält gleich nach dem Entstehen der Öffnung mehrere Stärkekörnchen; da nun in der ganzen Pflanze keine Stärke mehr vorhanden ist, so muss jene offenbar in den Spaltöffnungszellen selbst gebildet werden. Bis hierher ist in dem Gedankengange offenbar nichts Überraschendes; wenn nun eine Spaltöffnungszelle im Stande ist, 5 — 6 Stärkekörner zu erzeugen, warum soll sie nicht im Stande sein, deren hundert und mehr zu produciren, wenn die jeweilig gebildeten aufgelöst und in's unterliegende Parenchym übergeführt werden.

Wenn man zugibt, dass eine Spaltungszelle 5 — 6 Stärkekörner bildet, so kann man auch zugeben, dass sie dasselbe zu wiederholten Malen thut. Wenn man ferner bedenkt, dass eine Zelle auf diese Weise continuirlich Stärke erzeugen kann, und dass die Zahl dieser Organe eine so bedeutende ist, so ist es dann auch nicht mehr überraschend, dass aus so kleinen Organen eine so grosse Menge Stärke am Ende der Vegetation hervorgehen kann.

Der Zucker und das Dextrin, welche bis zum Stadium II das Mark erfüllten, breiten sich bis zum Stadium III auch in die

Rinde des hypokotylen Gliedes des Stengels und der Wurzel aus; sowohl in den eben erst entstandenen Nebenwurzeln I. Ordnung als in dem ganz ersten Glied erhält man mit $CuOSO_3$ und kochendem KOHO starke Niederschläge von rothem Cu_2O; in den Kotyledonen entsteht der Niederschlag nur an der Basis; frei von Zucker ist nur die Wurzelspitze, die Terminalknospe und das Parenchym der Blätter (vergl. Taf. II, Fig. II—III, die quer schraffirten Stellen bezeichnen die Orte, wo man mit $CuOSO_3$ und KOHO rothen Niederschlag bekommt). Die Stellen, wo kein Niederschlag von Cu_2O entsteht, die Wurzelspitzen, die Terminalknospe, die Achselknospen und das ganze producirende Gewebe in allen Theilen, sind diejenigen Orte, wo Neubildung an Zellen (Wurzelspitze und Terminalknospe) oder Ablagerung von organisirter Materie (Holz, Bast, Gefäss) stattfindet. An allen diesen Orten erhält man mit $CuOSO_3$ und KOHO eine die Zellen erfüllende dunkelviolete Flüssigkeit; Reaction auf Eiweissstoffe.

Es ist wahrscheinlich, dass auch an diesen Orten Spuren von Zucker sind, da ja Zellstoffbildung hier stattfindet, jedenfalls ist es aber sehr wenig, denn die Production des Cu_2O findet schon bei äusserst geringen Quantis von Zucker und Dextrin in den Zellen Statt. Wahrscheinlich wird an den genannten Bildungsherden das gelöste Kohlehydrat in dem Masse verarbeitet, als es dahin gelangt. Gegen das Stadium IV hin verschwindet Zucker und Dextrin aus dem Parenchym der ganzen Wurzel (Taf. II, Fig. IV) und der Nebenwurzeln I. Ordnung. Dagegen bleibt alles Mark- und Rindenparenchym der oberirdischen Theile davon erfüllt. Wenn man die Stadien II, III und IV auf Taf. II vergleicht, so bemerkt man, dass aus dem zweiten Stengelgliede die Stärke verschwunden, dagegen Zucker entstanden ist, dass ebenso in den nun zur Streckung bereiten Blattstielen Zucker an die Stelle der Stärke getreten ist. Merkwürdiger Weise konnte ich bis zum Stadium IV in den Bewegungsorganen niemals einen Cu_2O-Niederschlag bekommen. Gesetz ist, dass Zucker und Dextrin nur in den Geweben zu finden ist, wo vorher Stärke war, dass der Zucker niemals vor, sondern immer nach der Stärke erscheint, dass er an allen Orten, wo Neubildungen oder Stoffablagerungen stattfinden, fehlt oder in sehr geringer Menge zugegen ist; die Epidermis und alle ihre Anhängsel, das producirende Gewebe und seine Derivate enthalten niemals nachweisbaren Zucker, dagegen jeder-

zeit so viel Eiweissstoffe, um mit $CuOSO_3$ und KOHO eine blaue Flüssigkeit zu geben. Der Gerbstoff erfüllt jetzt so wie früher die Gerbstoffgefässe; er lässt sich mit Eisensalzen, mit KO, NaO mit SO_3 bis in die jungen Blätter und in die kleinen Nerven der alten verfolgen. Die Gerbstoffzellen obwohl gleich den Gefässzellen in senkrechten Reihen geordnet, sind niemals communicirend, auf Längsschnitten sind sie oben und unten geschlossen (vergl. Taf. II. Fig. II, III und Fig. IV, wo die unterbrochenen schwarzen Linien in den schematischen Längsschnitten die Gerbstoffzellenreihen bedeuten, auf den Querschnitten sind sie durch schwarze Punkte angedeutet; Taf. III, Fig. IV *b* zeigt die Gerbstoffgefässe mit ihrer Umgebung, sie sind schwarz ausgefüllt).

Der mit KO oder mit c. c. SO_3 gelb werdende Stoff nimmt im Oberhautsystem immer mehr überhand.

Das Plasma in den Zellen unter der Oberhaut des Stengels, in denen, welche die Gerbstoffgefässe und die eigentlichen Gefässe umgeben, ballt sich zu kleinen Klümpchen zusammen, diese werden grün; es bildet sich in den genannten Zellen Chlorophyll.

Das Plasma, welches die Wände der Blattparenchymzellen überzieht, zerfällt in grössere Körner und wird gleichzeitig grün.

Im Dunkeln erzogene, vergeilte Pflanzen bilden nicht nur keinen grünen Farbstoff, sondern auch ihr Plasma zerfällt nicht in Körner; die Zellen im Blattparenchym solcher Pflanzen sind noch im Stadium IV, mit dem farblosen Plasma ausgekleidet. Diese Substanz scheint zu fluoresciren; denn wenn man nur eine einzige Zellschichte unter dem Mikroskope hat, so sieht der Plasmaüberzug der Innenwand der Zellen bläulich aus; liegen dagegen mehrere Schichten übereinander, so erscheint dieser Stoff gelb. Bringt man die vergeilten Pflanzen an's Licht, so zerfällt die Plasmaauskleidung der Zellen in kurzer Zeit in grüne Körner.

Die mineralischen Stoffe scheinen während der ganzen Keimung eine sehr wichtige Rolle zu spielen. Ich habe Quer- und Längsschritte aus den verschiedensten Theilen aller Stadien auf Platinblech geglüht, und erhielt immer vollständige Aschenskelete der Zellen, bei vergeilten Pflanzen ebenso. Es ist auf diese Weise, und je dünner die Schnitte sind desto besser, leicht sich davon zu überzeugen. dass die Zellhäute sämmtlich junge und alte mit Aschentheilen imprägnirt sind.

Besonderer Aufmerksamkeit scheint der Umstand werth, dass auch die jüngsten Theile der Terminalknospe Aschenskelete liefern, in denen man die Gestalt der Zellen erkennt. Es scheint hieraus hervorzugehen, dass diese mineralischen Stoffe zur Bildung der Zellhäute wesentlich sind, dass der Gestaltungsprocess der Zellhäute nicht sowohl in der Cellulose, als vielmehr in einem Gemenge von dieser mit unorganischen Substanzen vor sich geht. Wie fest die Mineralstoffe mit der Cellulose verbunden sind, zeigt ja der Umstand, dass auch das reinste Filtrirpapier noch Asche liefert, dass sie selbst durch oft wiederholtes Waschen der Leinwand und Baumwolle nicht entzogen wird.

Gegen das Stadium IV hin beginnt in der Wurzel schon die Ablagerung von Gypskrystallen (Taf. III, Fig. IV β) in der innersten Schichte des Rindenparenchyms. Schon vorher und noch in allen Entwickelungszuständen nachher kann man die Gegenwart von Kalksalzen in dem ganzen Rinden- und Markparenchym der Bohne nachweisen: setzt man auf dünne Schnitte dieser Gewebe c. c. SO_3HO, so werden gleichzeitig mit der Auflösung der Zellhäute in jeder Zelle eine grosse Anzahl von Gypskrystallen gebildet, welche aus langen Nadeln, zuweilen auch aus Tafeln bestehen.

Die c. c. SO_3HO ist sehr geeignet die verschiedenen Zustände der Zellhäute in den verschiedenen Gewebeschichten zu charakterisiren. Setzt man auf einen dünnen Schnitt aus dem Stengel einen Tropfen englische Schwefelsäure, so lösen sich in wenig Secunden alle Rindenzellen, eben so die äusseren Markzellen und die Leisten des producirenden Gewebes; dagegen bleiben die Zellhäute der Oberhaut und der nächst unteren Schichte ungelöst; auch das Bast löst sich erst nach längerer Zeit und bevor dies geschieht, werden die Zellhäute intensiv fleischroth, jedoch nur die älteren äusseren Schichten; die inneren jungen Zellstoffschichten derselben Zellen bleiben farblos; wie sehr verschieden die Holzsubstanz und die der Gefässe von der des Bastes ist, geht daraus hervor, dass an demselben Schnitt wo die Bastzellhäute roth werden, die Häute der Holzzellen und der getüpfelten Gefässe sich intensiv grün färben; hievon ist wieder die Faser der Spiralgefässe verschieden, sie färbt sich mit c. c. SO_3HO intensiv karminroth.

In dem Verhalten gegen SO_3 unterscheidet man demnach im Stengel im Stadium IV sechs verschiedene Varietäten von Zellstoff:

Tabelle zu Stadium IV.

Wurzelspitzen.

- Wurzelhaube . . . . . voll Stärke.
- Äussere Rindenschicht; . keine Stärke; Eiweiss.
- Rindenparenchym . . . . „ „ „
- Producirendes Gewebe . . „ „ „
- Mark . . . . „ „ „

→ Alle Zellen noch in Theilung begriffen; mit $CuOSO_3$ und KOHO das ganze Gewebe violet.

Gestreckte Wurzeltheile.

- Äussere Rindenschicht.
- Haare.
- Rindenparenchym.
- Innerste Schicht; Krystalle.

→ Enthalten keine Stärke, keinen Zucker, kein Dextrin; mit $CuOSO_3$ und KO Zellhäute hellblau.

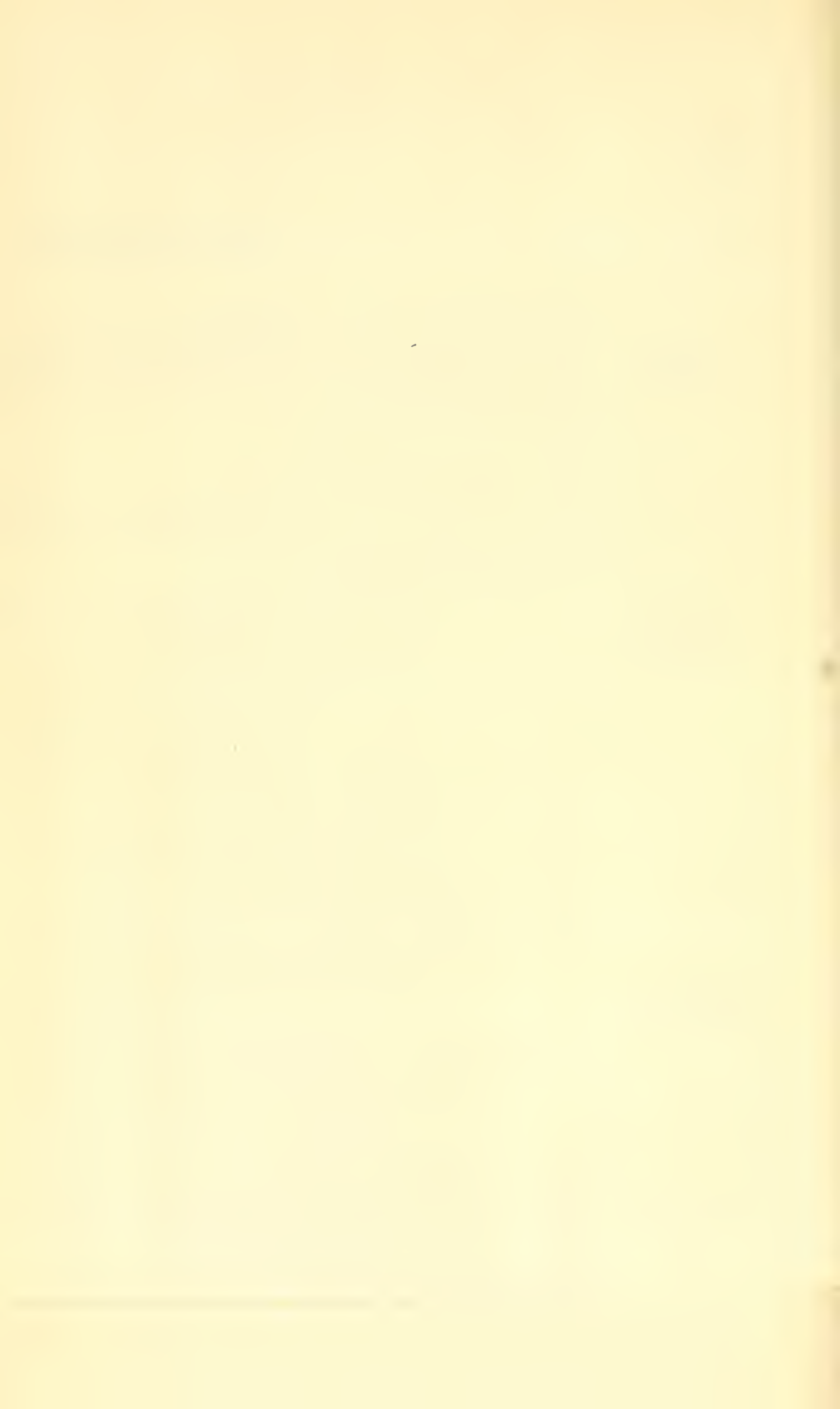
- Producirendes Gewebe enthält
  - Äusserste Schicht.
  - Leitzellen.
    → Enthalten nach Behandlung mit $CuOSO_3$ und KO eine violete Flüssigkeit; Eiweissstoff.
  - Bast; Häute stark verdickt, mit $CuOSO_3$ und KO blau.
  - Getüpfelte Gefässe, verdickt, enthalten Luft; mit $CuOSO_3$ und KO gelb; mit SO_3HO grün.
  - Cambium; enthält Eiweissstoffe; mit $CuOSO_3$ und KO violet.
- Mark; keine Stärke, keinen Zucker, kein Dextrin; mit $CuOSO_3$ und KO hellblau.

Hypokotyles Stengel-Glied.

- Epidermis.
- Haare.
  → Enthalten keine Stärke, keinen Zucker und kein Dextrin; werden mit SO_3 und KO gelb; mit $CuOSO_3$ und KO violet.
- Spaltöffnungen enthalten Stärke.
- Rindenparenchym enthält Stärke, Zucker, Dextrin; Häute von SO_3HO farblos gelöst.
- Producirendes Gewebe.
  - Stärkering voll Stärke.
  - Bastzellen enthalten Eiweissstoffe, werden mit $CuOSO_3$ und KO violet.
  - Bast verdickt, mit $CuOSO_3$ und KO blau; mit SO_3HO fleischroth.
  - Gerbstoffgefässe enthalten Gerbstoff.
  - Cambium; Eiweissstoffe mit $CuOSO_3$ und KOHO violet.
  - Holz.
  - Gefässe.
    → Stark verdiekt; mit SO_3 c. c. grün; mit $CuOSO_3$ und KO gelb.
- Mark enthält Stärke, Dextrin, Zucker; Häute von SO_3HO farblos, langsam gelöst.

Erstes Stengel-Glied.

- Epidermis.
- Haare.
  → Enthalten keine Stärke, keinen Zucker, kein Dextrin; werden mit c. c. SO_3 gelb; im $CuOSO_3$ und KO violet.
- Spaltöffnungen enthalten Stärke.
- Rindenparenchym; keine Stärke, viel Zucker und Dextrin, wenig Chlorophyll.
- Producirendes Gewebe.
  - Stärkering voll Stärke.
  - Bast verdickt; mit SO_3 c. c. äuss. Verdick. Schichte roth; mit $CuOSO_3$ und KO.
  - Leitzellen enthalten gelöste Eiweissstoffe, mit $CuOSO_3$ und KO violet; wenig Chlorophyll.
  - Cambium; Eiweissstoffe mit $CuOSO_3$ und KO violet.
  - Getüpfelte Gefässe, die älteren führen Luft; Wände mit SO_3 c. c. intensiv grün; mit $CuOSO_3$ und KO gelb.



1. Oberhaut farblos, sehr langsam gelöst; 2. Rindenparenchym farblos, schnell gelöst; 3. Bast fleischroth, langsam gelöst; 4. Holz und getüpfelte Gefässe grün, sehr langsam gelöst; 5. Spiralfaser karminroth, ziemlich schnell gelöst; 6. inneres Mark farblos, langsam gelöst.

Ich habe diese Reactionen sehr oft wiederholt und immer mit demselben Resultat. Besonders interessant sind die Längsschnitte von getüpfelten Gefässen; die c. c. SO_3HO färbt nur die verdickten Stellen intensiv grün, die Tüpfel bleiben farblos. Ähnliche Reactionen finden in anderen Keimpflanzen Statt, und zwar zeigen allgemein die gleichnamigen Elemente in der ganzen Länge einer Keimaxe die gleiche Reaction; es geht hieraus der Schluss hervor, dass jedes Gewebe nicht nur durch die Gestalt seine Zellen, und wie ich schon früher nachgewiesen, durch die Inhalte, sondern auch durch eine bestimmte Varietät von Zellstoff charakterisirt ist. Es geht ferner aus meinen Untersuchungen hervor, dass die c. c. SO_3HO auf gleichnamige Elemente verschiedener Pflanzenarten verschieden reagirt; die getüpfelten Gefässe der Bohne werden grün, die der Maispflanze intensiv braunroth, die von Ricinus grün, die in dem Mandelkeim prachtvoll violet u. s. w.

Diese charakteristischen Schwefelsäurereactionen der Häute gewinnen noch an Bedeutung dadurch, dass ihnen das Verhalten gegen andere Reagentien, z. B. Jod und $CuOSO_3$ mit KOHO parallel geht.

Auf der folgenden Tabelle versuche ich eine übersichtliche Charakteristik des IV. Stadiums, um die gleichzeitige Gegenwart der morphologischen und chemischen Bestandtheile zu zeigen:

(Siehe nebenstehende Tabelle.)

Zur Vergleichung mit Stadium II führe ich noch folgende Übersicht an:

STADIUM IV.

Formen:

unverändert seit Stadium II:	in Veränderung durch Ausdehnung begriffen:
Parenchym der Kotyledonen.	Zweites und drittes Stengelglied mit ihren Blättern.
Unverändert seit Stadium II:	Stiele der Primordialblätter, Laminae derselben.
Parenchym der Hauptwurzel.	

Die definitive Streckung haben erreicht:	Ausgebildete Formelemente:
Pfahlwurzel. Hypokotyles Glied. Erstes Stengelglied beinahe.	Alles was in den fertig gestreckten Theilen vorhanden ist mit Ausnahme der cambialen Neubildungen.

Neubildungen seit Stadium II.

Spaltöffnungen auf der ganzen Oberhaut.
Chlorophyllkörner in Rinde und Blattparenchym.

Stoffe in den Zellen:

Stärke und Eiweissstoffe	Eiweissstoffe ohne Stärke:
sind nirgends mehr in denselben Zellen vereinigt.	Im Urparenchym der Vegetationspunkte. Cambium und Leitzellen der producirenden Gewebe. Parenchym der Bewegungsorgane. Blattparenchym.
Die Stärke ist verschwunden:	**Neu entstandene Stoffe seit dem Stad. II:**
Im Parenchym der ganzen Pflanze mit Ausnahme von Mark und Rinde des hypokotylen Gliedes.	Der grüne Farbstoff der Chlorophyllkörner. Rother Farbstoff in manchen Theilen der Epidermis. Kalkkrystalle in der Wurzel.
Stärke ist vorhanden:	**Zucker und Dextrin sind verschwunden:**
In den Wurzelhauben. In dem Stärkering. In Mark und Rinde des hypokotylen Gliedes.	Aus dem Wurzelparenchym. **Zucker und Dextrin sind vorhanden:** In Mark und Rinde des Stammes und der Blattstiele.

Luft ist vorhanden:

In den Zwischenräumen des Mark- und Rindenparenchyms.	In den Spiralgefässen und den fertigen getüpfelten Gefässen der Wurzeln und der oberirdischen Theile.

Ich habe für diese und die früheren Übersichten noch zu bemerken, dass ich die Eiweissstoffe aus einem Gewebe als verschwunden

betrachte, wenn auf keine Weise mehr mit $CuOSO_3$ und KOHO eine violete Flüssigkeit in den Zellen erhalten werden kann; dass ich ebenso die Abwesenheit von Zucker da voraussetze, wo mit demselben Reagens kein rothes Cu_2O in den Zellen entsteht.

Als Leitzellen bezeichne ich die dünnhäutigen gestreckten Zellen, welche ursprünglich im producirenden Gewebe vorhanden waren, nicht zu Bast oder Gefässen oder zu Cambium umgewandelt sind, und Eiweisslösungen enthalten; sie unterscheiden sich wesentlich von den Parenchymzellen dadurch, dass sie niemals Lufträume zwischen sich lassen, keine Kohlehydrate führen, überhaupt den Charakter des producirenden Gewebes beibehalten, ohne neue Formelemente zu produciren, sie bilden die Grundmasse der producirenden Gewebe, sie umgeben die Gerbstoffgefässe und die Gefässe.

d) Beendigung der Keimung bis zum Stadium V.

Die schon im Keim vorhandenen Primordialblätter erhalten erst jetzt ihre definitive Ausdehnung, die Stiele strecken sich noch auf das Dreifache ihrer Länge im Stadium IV. Die Bewegungsorgane derselben erhalten erst jetzt ihre bleibende Gestalt und Grösse und erst jetzt werden sie fähig die periodischen Bewegungen zu machen.

Das Wurzelsystem vermehrt seine Organe noch durch Bildung der Nebenwurzeln II. Ordnung.

Mit den Nebenwurzeln II. Ordnung und der Entfaltung der ersten gedreiten Blätter, kann man sagen, beginnt die eigentliche, selbstständige Vegetation.

Diese beiden Erscheinungen fallen in dieselbe Zeit, wo die letzte Stärke aus den Kotyledonen verschwindet; auch die Eiweissstoffe sind sämmtlich aus den Kotyledonen in die Keimaxe übergegangen; wenn man Schnitte der Kotyledonen mit $CuOSO_3$ und KOHO behandelt, so werden sie nicht mehr violet, sondern hellblau, eine Färbung, welche der erweichten Cellulose des Parenchyms angehört.

Die Stärke im Stärkecylinder verschwindet nun auch vollständig.

Zucker und Dextrin lassen sich im Stadium V noch im Mark des Stengels von den Kotyledonen bis zur Knospe hinauf nachweisen, aber nur in den axilen Zellenreihen; in den Stielen der Primordialblätter sind sie in Mark und Rinde vorhanden; auch jetzt

findet sich merkwürdiger Weise in den Bewegungsorganen kein Zucker oder Dextrin, dagegen noch reichliches Eiweiss, sie werden mit $CuOSO_3$ und KOHO violet.

Diese geringen Quantitäten Zucker und Dextrin sind die letzten Reste des Zehrpfennigs, den die Mutterpflanze dem Keime mitgegeben hatte, er lebt nun ferner von selbst aufgenommenen und zubereiteten Stoffen.

In den Geweben finden bis zum Stadium V keine wesentlichen Änderungen Statt; die Holzzellen vermehren sich noch durch Thätigkeit des Cambiums, die Gefässe fangen erst später wieder an, sich zu mehren. Der Bau der gleichnamigen Organe, welche sich aus der Terminalknospe schon gebildet haben und demnächst bilden, stimmt mit dem ersten Stengelglied und dem Bau der Primordialblätter völlig überein; Stärkering, Bast, Gerbstoffgefässe, Holz, Gefässe treten im zweiten Gliede als Fortsetzungen der nämlichen Gewebe des ersten Gliedes auf.

Der mit KOHO gelb werdende Stoff, welcher das Oberhautsystem zwischen den Stadien II und IV charakterisirte, scheint gegen V hin zu verschwinden.

§. 6. Einige Folgerungen aus §. 5.

a) Zur Charakteristik der Stoffe.

Während des ganzen Keimungsprocesses verhalten sich die nachweisbaren Stoffe auf zwei ganz verschiedene Weisen; die Einen sind in fortwährender Veränderung ihrer Eigenschaften und ihres Ortes begriffen; dies sind die Kohlehydrate und Eiweissstoffe. Abgerechnet die kleine Quantität, welche in der Keimaxe zugegen war, ist alle Stärke, Zucker und Dextrin der Keimpflanze aus den Kotyledonen gekommen; diese drei Stoffe zeigen eine innige Beziehung zu den Neubildungen und den Ausdehnungen der Organe: wo ein Glied sich streckt, da verschwindet die Stärke aus den Zellen, dafür tritt Zucker auf und sobald die definitive Dehnung erreicht ist, verschwindet auch dieser; und in dem Masse als Stärke und Zucker verschwinden, nehmen die Zellstoffablagerungen in den Elementen des producirenden Gewebes zu; man kann mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen, dass die ganze Masse der Zellhäute, welche in dem Stadium V vorhanden sind, im Stadium I in Gestalt von Stärkekörnern das Kotyledonengewebe erfüllte.

Die Eiweissstoffe der Kotyledonen, in die Keimaxe eingetreten, scheinen sich nur im producirenden Gewebe zu verbreiten und hauptsächlich gegen die Vegetationspunkte hinzuziehen; in dem Mark- und Rindenparenchym und in der Epidermis werden sie in dem Masse seltener, als diese Theile sich ausdehnen, und haben sie ihr definitives Volumen erreicht, so scheinen auch die in ihnen enthaltenen Eiweissstoffe verschwunden zu sein; in diesen Theilen ist dann mit $CuOSO_3$ und KO keine violete Flüssigkeit mehr zu erzeugen. Es ist wahrscheinlich, dass die ganze Masse der in den Kotyledonen enthaltenen Eiweissstoffe in der Anlage neuer Wurzeln und Blätter ihre Verwendung finden; auch die Primordialblätter müssen den grössten Theil ihres Plasma's aus den Kotyledonen beziehen; denn das, was sie im Samen enthielten, kann unmöglich hinreichen, um das Material zu den zahlreichen Chlorophyllkörnern herzugeben.

Wenn die Kohlehydrate und Eiweissstoffe in ihrer leichten Beweglichkeit übereinstimmen, so unterscheiden sie sich dagegen durch die Wege, auf denen sie sich bewegen, sehr auffallend; die Stärke und ihre Derivate sind jederzeit nur im Parenchym der Rinde und des Markes zu finden, zwischen dessen Zellen luftführende Räume liegen. Die Eiweissstoffe dagegen sind nach dem Stadium II nur in dem producirenden Gewebe, dessen Zellen ohne Lufträume an einander schliessen, und in den jungen ungestreckten Geweben zu finden, zumal in der Wurzel tritt es deutlich hervor, dass die Eiweissstoffe ihre Wanderung zu den entfernten Vegetationspunkten nur im producirenden Gewebe fortsetzen; in der Rinde und im Mark der fertigen Wurzeln, die aber an der Spitze noch weiter wachsen, findet man mit $CuOSO_3$ und KO niemals eine Spur von violeter Flüssigkeit, alles was die Vegetationspunkte an Eiweissstoffen bedürfen, wird durch das producirende Gewebe dahin geführt.

Den leicht beweglichen Kohlehydraten und Eiweissstoffen gegenüber bilden der Gerbstoff und die Farbstoffe eine Gruppe träger Elemente, die da, wo sie einmal entstanden sind, liegen bleiben. Diese beiden Gruppen sind in der That physiologisch in jeder Hinsicht verschieden; Kohlehydrate und Eiweissstoffe sind im ruhenden Keime vorhanden, sie sind nicht das erste, sondern das letzte Assimilationsproduct der Mutterpflanze, ein für die Nachkommen aufgespartes Capital; Gerbstoff und Farbstoffe dagegen treten auf an den Stellen wo die Vegetation beginnt, wo jene Assimilationsproducte der Mutter-

pflanze nun in neue Formen übergehen. Der Gerbstoff und der mit ihm in denselben Zellen enthaltene Farbstoff scheinen Nebenproducte des Chemismus im producirenden Gewebe, der gelb werdende Stoff in dem Epidermissystem ein Nebenproduct des Bildungsprocesses der Haare zu sein. Das Chlorophyll entsteht in dem Plasma, wenn dieses für die Zellbildung schon überflüssig geworden ist und nun einen selbstständigen Bildungsprocess beginnt, wobei es in einzelne Kugeln zerfällt, deren jede einen Theil des gleichzeitig entstandenen Chlorophylls als Pigment enthält.

Kohlehydrate und Eiweissstoffe kommen zur Ruhe unter neuen Formen, die Pigmente entstehen in dem Masse, als diese neuen Formen sich bilden. Gerbstoff und rother Farbstoff erscheinen nur in der Nähe der Neubildungen, der gelb werdende Stoff ebenfalls; im Parenchym, wo keine Neubildungen stattfinden, tritt weder Gerbstoff noch Pigment auf.

b) Zur Charakteristik der Gewebe.

Im ruhenden Keime wurde die Axe von drei verschiedenen Geweheformen, welche ein conaxiales Röhrensystem bilden, zusammengesetzt; die äussere Grenze wurde von einer Schichte dicht schliessender Zellen, deren Längsaxe quer gegen die Pflanzenaxe stand, gebildet; darin steckte das Rohr des Rindengewebes, charakterisirt durch die tafelförmigen, mit luftführenden Zwischenräumen angrenzenden Zellen, darin steckte ein drittes Rohr, das producirende Gewebe, aus dicht schliessenden Zellen gebildet, welche mit Ausnahme der äussersten Schichte (Stärkecylinder) in der Richtung der Pflanzenaxe gestreckt sind; endlich wurde das producirende Rohr noch ausgefüllt durch das Markparenchym, welches von dem Rindenparenchym nicht wesentlich verschieden ist. Im ruhenden Keim waren diese drei Gewebeformen nur durch die Gestalt und Verbindung der Elemente charakterisirt; sobald die Keimung beginnt, zeigt es sich, dass sie sich auch in Bezug auf die Stoffe und die Streckungserscheinungen wesentlich unterscheiden.

Die äusserste Schichte erhält sich lange in einem jugendlichen Zustande; sie führt keine Stärke, keinen Zucker, kein Dextrin; einzelne ihrer Zellen wachsen papillenartig heraus und bilden an der Wurzel Wurzelhaare, an den oberirdischen Theilen Haken- und Drüsen-Haare; die zwischen den Haaren liegenden Zellen der ober-

irdischen Theile beginnen viel später einen eigenen Bildungsprocess, es entstehen die Spaltöffnungen; endlich erlischt diese lang dauernde Lebensthätigkeit, es tritt Verdickung und eine besonders in den Haaren vorwiegende Imprägnation mit mineralischen Stoffen ein; während dieser Gestaltungsprocesse findet sich in dem oberirdischen Theile dieses Gewebes ein mit KO gelb werdender Stoff ein.

Das Rindenparenchym zeigt dagegen gar keine oder eine ganz untergeordnete zellbildende Thätigkeit; ihre Zellen sind der Zahl und Lage nach bestimmt schon im ruhenden Keime vorhanden, sie dehnen sich nur aus. Ebenso die Markzellen. In beiden findet die Bewegung der Stärke, ihre Auflösung in Zucker und Dextrin und ihre Fortleitung in die von den Kotyledonen entfernten Theile hin Statt. Mark und Rinde sind gewissermassen nur die Laboratorien, in denen die Stärke der Kotyledonen in die geeigneten Formen übergeführt wird, um der Erzeugung neuer Formelemente in der Oberhaut und im producirenden Gewebe zu dienen.

Im producirenden Gewebe findet eine sehr rege und lang dauernde Thätigkeit Statt; hier werden aus ursprünglich gleichartigen Elementen die verschiedensten Zellformen hervorgebildet, theils durch blosse Ausdehnung und Verdickung, theils durch ganz neue Anlage der Elemente; und zwar ordnen sich die gleichartigen Formen wieder in conaxiale Röhrensysteme; zu äusserst der Bast, dann die Cambiumschichte, zu innerst die Gefäss- und Holzschichte; mit dieser morphologischen Sonderung tritt zugleich eine chemische hervor; im Bastcylinder lagert sich die reinste Cellulose ab, im Holz-Gefässcylinder die mit eigenthümlichen Stoffen (Xylogen) imprägnirte; in den dünnhäutigen Zellen des Cambiums bleiben die Eiweissstoffe lange thätig, die Gerbstoffgefässe scheinen nur die Reservoire von unthätig gewordenen Secreten zu sein, und die Leitzellen die Saftführung zu besorgen. Stärke, Zucker, Dextrin lassen sich in diesen Geweben niemals nachweisen, dafür treten aber im Holz und Bast die letzten Metamorphosen dieser Stoffreihe als Verdickungsschichten der Zellen auf; während die Kohlehydrate in dem Marke und der Rinde nur fortgeleitet und zubereitet wurden, kommen sie in Holz und dem Bast unter bestimmten Formen zur Ruhe. Es ist gewiss physiologisch merkwürdig, dass sowohl da, wo das producirende Gewebe an das Mark, als auch da, wo es an die Rinde grenzt, also überall, wo das producirende, Eiweissstoff

führende Gewebe mit dem Zucker und Dextrin führenden in Berührung kommt, grosse Quantitäten von Cellulose niedergeschlagen werden. Besonders erscheint der Stärkering gewissermassen als ein Reservoir für das Material, aus dem die langdauernde Verdickung der Bastzellen bestritten werden soll.

Sobald die Gefässe ausgebildet sind, enthalten sie Luft, hierin scheint ein Ersatz für die luftführenden Zwischenräume zu liegen, welche dem producirenden Gewebe von Anfang bis zu Ende fehlen.

c) Zur Charakteristik der Organe.

Zuerst macht sich der Unterschied zwischen den Kotyledonen und der Keimaxe geltend; jene geben nur her, diese nimmt nur auf; in jenen findet nur Auflösung und Fortführung der mütterlichen Stoffe, in dieser dagegen Umwandlung und Ablagerung unter neuen Gestalten Statt. Auch in den Kotyledonen treten einige Neubildungen (Gerbstoff und Spiralfasern) auf; jedoch in höchst untergeordnetem Grade.

Bei der Keimung macht sich nun zuerst der Unterschied zwischen absteigender und aufsteigender Axe geltend. In jener beginnt sogleich eine lebhafte Zellenbildung und gleich darauf eine energische schnelle Streckung. Wenn die aufsteigende Axe eben an das Licht tritt, ist bereits ein grosser Theil des Wurzelsystems fertig.

In der Art, wie die Neubildungen an der Wurzel und am Stengel auftreten, liegt ein sehr auffallender Unterschied; die jungen Wurzeln entstehen immer weit über der Wurzelspitze an schon vorhandenen Leisten des producirenden Gewebes, die bereits auf der Innenseite Gefässe enthalten; oder anders ausgedrückt, die Neubildung der Wurzeln findet an dem schon fertig gestreckten Theile der Hauptwurzel Statt.

Die Neubildungen des Stammes dagegen treten in nächster Nähe der Spitze auf; sie entwickeln sich nicht aus dem producirenden Gewebe, welches an der Terminalknospe noch gar nicht vorhanden ist, sondern aus den äusseren Schichten des Urparenchyms; indem sie sich weiter bilden, bildet sich auch erst der Stammtheil, dem sie entsprossen sind aus, er differenzirt sich in Rinde, producirendes Gewebe und Mark; erst wenn das neue Gebilde der Hauptsache nach fertig ist, beginnt die Streckung des tragenden Stengelgliedes. Die Bildung der Gefässe des Stengelgliedes findet hier immer viel später Statt

als die Anlage des zugehörigen Blattes, also genau umgekehrt, wie bei der Wurzel.

Der Stengel bildet zuerst Spiralfasergefässe, dann getüpfelte Gefässe, die Wurzel fängt gleich mit getüpfelten an und bildet niemals Spiralfasern; der Stengel bildet zwischen den Gefässbündeln in der innersten Schichte des producirenden Gewebes Holz, die Wurzel nicht. Die Gefässe des Stengels werden, je weiter nach aussen liegend, desto weiter, die der Wurzel desto enger.

Alle Theile der aufsteigenden Axe machen eigenthümliche Biegungen, bevor sie in ihre definitive Lage kommen, welches von einer Differenz der Ernährung und Spannung der verschiedenen Seiten herrührt; die Wurzeln nehmen ihre definitive Lage sogleich ein.

Das Wurzelsystem ist nach vorne und hinten, links und rechts völlig symmetrisch, von oben nach unten erscheint es verjüngt; eine Metamorphose der Nebenwurzeln gleicher Ordnung von oben nach unten findet nicht Statt. Der Stengel ist in eine vordere und eine hintere symmetrische Längshälfte getheilt; die ihnen entsprechenden Blätter sind symmetrisch; die Neubildungen des Stengels sind dagegen in keiner Weise symmetrisch; sie zeigen von unten nach oben eine Metamorphose der gleichnamigen Theile.

Die Nebenwurzeln sind blosse Wiederholungen der Hauptwurzel, die Blätter dagegen sind von dem tragenden Stengel wesentlich verschieden.

Alle oberirdischen Theile schliessen sich durch Cuticula-Bildung gegen aussen fest ab; dagegen unterbleibt ein solches Abschliessen bei den Wurzeltheilen. Durch ein sehr einfaches Experiment kann man sich von diesem wichtigen Unterschiede überzeugen; legt man eine im Stadium II (oder später) befindliche Pflanze in eine sehr verdünnte violete Lösung von übermangansaurem Kali, so bedecken sich alle Wurzeltheile in kurzer Zeit mit einem Niederschlag von reducirtem Manganhyperoxyd, während alle Stengeltheile frei davon bleiben; die Oberflächen der Wurzelzellen sind mit gelösten organischen Stoffen imprägnirt und diese zersetzen die Übermangansäure, die Stengeltheile und Blätter dagegen sind durch die Cuticula abgeschlossen, ein Eindringen von Flüssigkeit findet nicht Statt, auch in den frühesten Keimstadien nicht. Die Wurzeloberfläche verhält sich wie ein innerer Stengeltheil gegen übermangansaures Kali.

d) Zur Charakteristik der Keimpflanze.

Die chemischen Processe und die Leitungsvorgänge in den Geweben der Keimpflanze unterscheiden sich wesentlich von denen der herangewachsenen selbstständig gewordenen Pflanze.

So lange der Kotyledon noch Nahrungsstoffe enthält, d. h. also so lange die Keimung dauert, ist die Stelle des Stengels zwischen den Kotyledonen, oder vielleicht genauer das hypokotyle Glied das Centrum der physiologischen Processe; von dem hypokotylen Gliede aus gehen die Stoffe gleichzeitig nach oben und nach unten. Wir sehen Stärke, Dextrin, Zucker von hier aus sowohl im Mark als in der Rinde zur Terminalknospe hinauf und zu der Wurzelspitze hinunter steigen, und zwischen beiden die Eiweissstoffe gleichzeitig dieselben und die entgegengesetzten Richtungen verfolgen.

Sowie die Kotyledonen entleert sind, hört dies auf; während der selbstständigen Vegetation der herangewachsenen Pflanze müssen in denselben Geweben ganz andere Processe, ganz andere Leitungserscheinungen stattfinden.

Während der Keimung enthalten alle Gewebe, besonders in den ersten Perioden, bedeutende Quanta fester und gelöster Stoffe; später findet dies nur in den thätigen Vegetationspunkten noch Statt, die Zellinhalte sind dann sehr wässerig, zumal in der Wurzel.

Während der Keimung finden Neubildungen und Streckungen in allen Theilen Statt; das Leben des Keimes erwacht an allen Punkten von der Wurzelspitze zur Terminalknospe hin auf einmal, sowohl im ganzen producirenden Gewebe wie auf der ganzen Oberhaut finden sich neue Formelemente und Stoffe gleichzeitig in Bildung begriffen; jemehr sich aber die Pflanze dem Ende der Keimung nähert, desto mehr verschwindet diese simultane Thätigkeit aller Theile, und am Ende der Keimung sehen wir die Herde der Neubildung auf die Stengelspitze, die Blattachseln und die Leisten des producirenden Wurzelgewebes beschränkt.

e) Eine praktische Folgerung.

Alles Vorhergehende wird hinlänglich gezeigt haben, wie wesentlich die Keimung an der Vegetation sich unterscheidet, wie die Keimung der Bohne gewissermassen nichts anderes ist als eine Umgestaltung der Stoffe, welche die Mutterpflanze in den Kotyledonen abgelagert hatte. Hieraus lässt sich für physiologische Expe-

rimente die Regel ableiten, dass, wenn man Versuche über Ernährung, Assimilation, über Leitung der Gewebe machen will, man dazu keine Keimpflanzen benützen darf, welche mit grossen nahrungsreichen Kotyledonen versehen sind. Solche Versuche dürfen erst dann anfangen, wenn die Pflanze ihre Kotyledonen bereits abgeworfen hat, oder man muss Keimpflanzen nehmen, welche sehr wenig mütterliche Nahrungsstoffe mit bekommen.

Wenn es darauf ankommt zu untersuchen, ob ein Stoff geeignet ist, als Pflanzennahrung zu dienen, so dürfte man folgenden Weg mit Vortheil betreten. Man liesse die Keimung so weit fortschreiten, bis die Pflanze ein hinlängliches Wurzelsystem entwickelt hat, dann schnitte man die Kotyledonen ab, und nun könnte man versuchen, ob der von den Wurzeln aufgenommene fragliche Stoff im Stande ist, die Keimung weiter zu führen, d. h. ob er im Stande ist, die assimilirte Nahrung der Kotyledonen zu ersetzen; dessen wäre natürlich nur ein leicht assimilirbarer Stoff fähig.

Prag, den 12. Februar 1859.

Erklärung der Abbildungen.

TAFEL I.

Fig. I — V Normalstadien der Keimung: die aus dem ruhenden Keime durch blosse Ausdehnung entstandenen Theile sind grau contourirt, die durch Neubildung entstandenen Theile schwarz ausgefüllt. Die zweispitzigen Pfeile bedeuten, dass der Theil, bei dem sie sich befinden, in Ausdehnung begriffen ist.

hc = hypokotyles Glied.
pr = Primordialblätter.
bw = Bewegungsorgane derselben.

Fig. I *L* ist ein Längsschnitt durch die ganze Axe des ruhenden Keimes, schwach vergrössert.

p = Schwanz der Wurzelspitze (Vorkeim).
r = Vegetationspunkt der Wurzelspitze.
t = Vegetationspunkt des Stengels.
pr = Primordialblattstiele.
E = Epidermis.
R = Rinde.
P = Producirendes Gewebe.
M = Mark.